3

INNOVACIÓN DOCENTE

Enseñanza de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja

Principios teóricos y ejercicios prácticos

Marisol Andrades Rodríguez
Jesús María Aransay Azofra
M.ª Paz Diago Santamaría
Noemí Solange Lana-Renault Monreal
José Ángel Llorente Adán
Purificación Ruiz Flaño
Eduardo Sáenz de Cabezón Irigaray

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Marisol Andrades Rodríguez, Jesús María Aransay Azofra, Mª Paz Diago Santamaría, Noemí Solange Lana-Renault Monreal, José Ángel Llorente Adán, Purificación Ruiz Flaño, Eduardo Sáenz de Cabezón Irigaray

Enseñanza de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja

Principios teóricos y ejercicios prácticos

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
2020

ENSEÑANZA de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado de la Universidad de La Rioja [Recurso electrónico] : principios teóricos y ejercicios prácticos / Marisol Andrades Rodríguez … [et al.] - Logroño : Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2020.
v. digital (131 p.) - (Innovación docente ; 3)
ISBN 978-84-09-17400-3
1. Sistemas de información geográfica. 2. Estudio y enseñanza. I. Andrades Rodríguez, Marisol. II. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. III. Serie.
913(100):004
37.02
RGW -- THEMA 1.0
4CT -- THEMA 1.0

Enseñanza de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja. Principios teóricos y ejercicios prácticos
de Marisol Andrades Rodríguez, Jesús María Aransay Azofra, Mª Paz Diago Santamaría, Noemí Solange Lana-Renault Monreal, José Ángel Llorente Adán, Purificación Ruiz Flaño y Eduardo Sáenz de Cabezón Irigaray (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.
Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© Los autores

© Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2020

publicaciones.unirioja.es

ISBN 978-84-09-17400-3

Edita: Universidad de La Rioja

INDICE

Índice de Figuras 5

INTRODUCCIÓN 9

1.GEOLOCALIZACIÓN. SISTEMAS DE COORDENADAS EN CARTOGRAFÍA DIGITAL 13

1.1. Conceptos geodésicos básicos 13

1.2. Coordenadas y localización 15

1.3. Visores cartográficos 19

1.4. Sistemas GPS 20

2. USO DE DATOS GPS (FORMATOS Y HERRAMIENTAS) 21

2.1. Introducción 21

2.2. Ejemplos de formatos. GPX 21

2.3. Ejemplos de formatos. KML 24

2.4. Ejemplos de formatos. GeoJSON 28

2.5. Ejemplos de formatos. Shapefile 30

3. CARTOGRAFÍA DIGITAL 31

3.1. Breve evolución cartográfica 31

3.2. La cartografía digital en el ámbito universitario 35

4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. FUNCIONES BÁSICAS 39

4.1. Definición y principales componentes de un SIG 39

4.2. Funcionalidades básicas de los SIG 42

4.3. Ejemplos de uso 45

5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. FUNCIONES AVANZADAS 53
5.1. Edición y creación de capas vectoriales 53
5.2. Reclasificación 55
5.3. Transformación de formato vectorial a ráster y de ráster a vectorial 56
5.4. Análisis de proximidad o vecindad: costes, distancias y áreas de influencia ... 56
5.5. Álgebra o calculadora de mapas 57
5.6. Interpolación espacial 58
5.7. Geomorfometría 59
5.8. Geoestadística 60
5.9. Ejemplos de uso 62

6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN Y APLICACIONES 89
6.1. Introducción a Python 89
6.2. Consola Python en QGIS 93
6.3. Bibliotecas Python para datos geográficos 94
6.4. Importación y lanzamiento de plugins de terceros 94
6.5. Bibliotecas R para datos geográficos y su integración con GIS 96
6.6 Práctica con QGIS 98

7. LIBRERÍAS (APIs) PARA LA CREACIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL 103
7.1. Introducción 103
7.2. Algunas APIs de uso extendido 104
7.3. Ejemplos de uso. API de IDERioja 105
7.4. Ejemplos de uso. Leaflet 114

BIBLIOGRAFÍA 123

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Dimensiones de la Tierra. Fuente: Olaya (2012) 13

Figura 1.2. Imagen del Geoide. Fuente: Misión GOCE. Agencia Espacial Europea..... 14

Figura 1.3. Dimensiones del elipsoide. Fuente: IGN 14

Figura 1.4. Coordenadas geográficas. Fuente: Geografía: Recursos online 16

Figura 1.5. Ejemplo de localización mediante coordenadas geográficas 16

Figura 1.6. Proyección UTM..... 17

Figura 1.7. División de la superficie terrestre en husos y bandas 17

Figura 1.8. Aproximaciones sucesivas en las coordenadas UTM 18

Figura 1.9. Ejemplo de localización de un punto mediante coordenadas UTM 18

Figura 1.10. Mapa de un sector de Logroño con el visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional 19

Figura 1.11. Imagen de un sector de Logroño con el visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional 19

Figura 1.12. Funcionamiento de GPS diferencial. Fuente: Olaya (2102) 20

Figura 2.1. Ejemplo de visualización de fichero GPX 24

Figura 2.2. Ejemplo de visualización de fichero KML. Punto 25

Figura 2.3. Ejemplo de visualización de fichero KML. Superposición 26

Figura 2.4. Ejemplo de visualización de fichero KML. Multigeometría 27

Figura 2.5. Ejemplo de visualización de fichero KML. Polígono 27

Figura 2.6. Ejemplo de fichero shapefile con sus contenidos 30

Figura 3.1. Tablilla de arcilla (600 a. de C.) y el anillo circundante que representa los océanos del mundo (s. XII) 32

Figura 3.2. Nove Totius terrarum Orbis Geographica Ac Hydrographica Tabula, del "Atlantis Maioris Appendix", (s. XVII) 32

Figura 3.3. Buitrago de Lozoya (Madrid). Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 (484-II) (2017) 33

Figura 3.4. Portal de Infraestructura de Datos Espaciales Gobierno de La Rioja (IDERioja) (2019) 34

Figura 3.5. Comparación espacio-temporal del entorno del campus de la Universidad de La Rioja en la ciudad de Logroño entre 1946 y 2017 36

Figura 4.1. Ejemplos de datos de tipo vector y ráster en un SIG 40

Figura 4.2. Ejemplo de georreferenciación de un punto. Posición y coordenadas geográficas 42

Figura 4.3. Ejemplo de superposición de tres capas: a) ortofoto de la zona a estudio (ráster), b) polígono de la parcela (vectorial tipo polígono) y c) puntos experimentales (vectorial tipo punto) 43

Figura 4.4. Ejemplos de superposición de (a) entidades, en este caso polígonos, y de (b) ráster. Adaptado de https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c9_p6.html 44

Figura 4.5. Ejemplos de buffering en punto, línea y polígono. (Saylor Academy 2012)........ 45

Figura 5.1 Ejemplo de RECORTE con una capa de polígonos 53

Figura 5.2. Ejemplo de INTERSECCIÓN entre dos capas de polígonos mostrando la tabla de atributos resultante 54

Figura 5.3. Ejemplo de UNIÓN de dos capas de polígonos mostrando la tabla de atributos resultante 54

Figura 5.4. Ejemplo de COMBINACIÓN de dos capas de polígonos mostrando la tabla de atributos resultante (ninguna de las geometrías de las capas de entrada se ve alterada) . 54

Figura 5.5. Ejemplo de DISOLUCIÓN de polígonos a partir de un atributo común (en este caso, el código regional) 55

Figura 5.6. Ejemplo de Reclasificación de una capa según el esquema mostrado en la tabla . 55

Figura 5.7. Ejemplo de rasterización de un polígono 56

Figura 5.8. Ejemplo de vectorización con límites escalonados (izquierda) y con límites suavizados mediante un filtro (derecha) 56

Figura 5.9. Área de influencia a un cauce basada en la distancia hidrológica (que tiene en cuenta la topografía y dirección de flujos) 57

Figura 5.10. Ejemplo de aplicación de álgebra o calculadora de mapas 58

Figura 5.11. Ejemplo que ilustra el proceso de interpolación: se conocen los valores de una variable en los cuatro puntos marcados y se quiere estimar el valor de esa variable en el resto de las celdas de la malla 58

Figura 5.12. Modelo de sombras (izquierda) e índice de convergencia (derecha) 60

Figura 5.13. Líneas de dirección de flujo y delimitación de la cuenca hidrográfica aguas arriba del punto rojo 60

Figura 5.14. Ejemplos de modelos de ajuste de semivariogramas 61

Figura 5.15. Parámetros de un variograma. γ representa la varianza de la variable y h la distancia entre los puntos de muestreo 61

Figura 7.1. Mapa base con la API de IDERioja 107

Figura 7.2. Mapa base de IDERioja con selección de fondo 108

Figura 7.3. Mapa base con la API de IDERioja con selector de capas 108
Figura 7.4. Mapa base con la API de IDERioja y opciones adicionales 109
Figura 7.5. Mapa base con la API de IDERioja y capa en formato GeoJSON 110
Figura 7.6. Mapa base con la API de IDERioja y capa GPX 112
Figura 7.7. Mapa base con la API de IDERioja y capa KML 113
Figura 7.8. Mapa base con Leaflet 115
Figura 7.9. Mapa base con Leaflet y capa KML 118
Figura 7.10. Mapa base con Leaflet y capa GPX 120
Figura 7.11. Mapa base con Leaflet y capa GeoJSON 121

INTRODUCCIÓN

La publicación que aquí se presenta, y que lleva por título "Enseñanza de sistemas de información geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja. Principios teóricos y ejercicios prácticos", es fruto del trabajo de un equipo multidisciplinar formado por un grupo de profesores de la Universidad de La Rioja de distintos departamentos (Ciencias Humanas, Agricultura y Alimentación, Matemáticas y Computación) pertenecientes a las Facultades de Letras y de la Educación, así como a la de Ciencia y Tecnología, además de la propia Escuela de Máster y Doctorado de dicha universidad (EMYDUR).

En concreto el material didáctico elaborado y que se expone a lo largo de estas páginas ha sido el resultado de distintos Proyectos de Innovación Docente desarrollados en la Universidad de La Rioja en los últimos años. Estos proyectos llevan por título "Coordinación y mejora de la docencia en asignaturas que utilizan Sistemas de Información Geográfica en la Universidad de La Rioja" (2017-2018) y "Coordinación y mejora en la utilización de GIS como una herramienta en la realización de TFGs, TFMs y tesis doctorales de la Universidad de La Rioja" (2018-2019). Con el desarrollo de dichos proyectos lo que se planteó en origen era el estudio y análisis de la utilización de datos geográficos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) o GIS, por su acrónimo inglés, en las diferentes asignaturas y grados impartidos dentro del campus público riojano. Posteriormente, las labores de investigación se centraron en el análisis de todos los trabajos fin de estudios, desde los Trabajos Fin de Grado (TFG) hasta los Trabajos Fin de Master (TFM) y tesis doctorales realizados en dicha universidad con el objetivo de averiguar y estudiar el tratamiento de datos geográficos o utilización de SIG que se realiza y, así, saber con qué profundidad se trabaja en cada uno de los trabajos fin de estudios en los que se emplea.

El interés por el estudio en la utilización de datos geográficos o SIG se suscita dada su progresiva incorporación a los distintos planteamientos o guías docentes de una gran diversidad de asignaturas en Grados de diferente ámbito dentro del ámbito universitario. Un hecho que responde a la creciente importancia de las TICs (Tecnologías de la Información y la Comunicación) dentro de nuestra sociedad. De hecho, durante las últimas décadas, se ha convertido en habitual e, incluso, imprescindible la utilización diaria y constante de dispositivos electrónicos como los móviles o tabletas, entre otros. Se trata, en definitiva, de la sociedad de las telecomunicaciones. Su uso se ha hecho extensible a muchos ámbitos cotidianos, un ejemplo lo constituye la utilización de GPS para desplazarnos. En este caso las propias aplicaciones móviles vinculadas a sistemas de teledetección y geoposicionamiento consiguen indicarnos a cuánta distancia nos encontramos de nuestro objetivo o interés, etc.

De la misma manera que en las diferentes situaciones diarias, en los sistemas de enseñanza aprendizaje de todos los niveles educativos también se ha ido incorporando la utilización de tecnologías de manera paulatina. En este caso, en lugar de aludir a las TICs, más recientemente se

ha difundido el concepto de TACs (Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento) dada su gran relevancia en el ámbito docente. Dichas TACs cuentan con una enorme presencia y aplicación en todas aquellas propuestas o iniciativas enmarcadas dentro de la innovación docente, como es el caso de la utilización de SIG.

Es en este contexto donde se enmarca el trabajo de investigación y análisis de este grupo de profesores de la Universidad de La Rioja (UR). En una primera fase, el estudio se centró en la detección de asignaturas impartidas en el campus público riojano, perteneciente a cualquier área, departamento o facultad, que utilizasen datos espaciales o SIG. Los resultados obtenidos permitieron enumerar hasta diecinueve materias, que respondían a dichas premisas. Estas asignaturas pertenecían a siete Grados (Geografía e Historia, Ingeniería Agrícola, Enología, Turismo, Educación Primaria, Lengua y Literatura Hispánicas, Estudios Ingleses) y a tres Master (Ingeniería Agronómica, Estudios Avanzados en Humanidades, Tecnologías Informáticas). Al mismo tiempo se obtuvo un catálogo con los distintos programas o herramientas con los que se lleva a cabo. Entre el software más utilizado se encuentran programas como QSIG, Librería R, GvSig, ArcGis, API Google, AutoCad, entre otros. Mientras que las fuentes de datos geográficos más empleados eran las Infraestructuras de Datos Espaciales regionales, sobretodo IDERioja, la propia elaboración de datos, el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el SIOSE, Google Map, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), etc.

La segunda fase en la que se dividió el trabajo consistió en la detección de trabajos fin de estudio: Trabajos Fin de Grado (TFG), Trabajos Fin de Master (TFM) y tesis doctorales de la UR, en cuyos desarrollos metodológicos se emplease tanto datos geográficos como SIG. Esta labor supuso una ardua tarea al analizar más de 1.500 TFGs, en torno a 1.000 TFMs, así como 835 tesis publicadas en esta universidad pública a fecha de diciembre de 2018. Los trabajos detectados se sometieron a un profundo análisis que permitió distinguir hasta tres grupos diferentes de uso: los que realizan una utilización básica de los datos geográficos (Grupo 1), los que llevan a cabo un uso más específico (Grupo 2), y aquellos que profundizan hasta alcanzar un tratamiento avanzado y de programación sobre datos geográficos (Grupo 3). A continuación, se muestra esta distinción por grupos, donde se presenta el tipo de datos y software empleado, así como las necesidades formativas que pueden requerir. Todo ello es el origen del material didáctico que aquí se presenta y que pretende dar respuesta a dichos usos diferentes, según la demanda o la profundidad de tratamiento.

- **Grupo 1:** uso tangencial de datos geográficos.

  Tipos de datos y software utilizado: GPS y Geolocalización.

  Necesidades formativas: coordenadas GPS, formatos de datos GPS y software asociado.

- **Grupo 2:** uso específico de datos geográficos y Sistemas de Información Geográfica.

  Aquí se diferencian dos niveles según el enfoque o tratamiento utilizado:

  Grupo 2A: uso de datos y mapas geográficos sin modificar, provenientes de distintas fuentes.

  Tipos de datos y software utilizado: fuentes oficiales de datos: IDERioja y de otras autonomías, Ministerio de Agricultura, DGT, IGN, CHE, Google Maps-Earth.

Software: SIG, APIs.

Necesidades formativas: manejo básico SIG, tipos de datos y capas. Sistemas de coordenadas. Manejo básico de APIs.

Grupo 2B: generación de mapas de producción propia a partir de datos provenientes de distintas fuentes de datos geográficos y del propio trabajo.

Tipos de datos y software utilizado: fuentes oficiales de datos y software similar.

Necesidades formativas: manejo avanzado de SIG, tipos de datos y capas, sistemas de coordenadas, herramientas y opciones avanzadas de SIG. Así como manejo básico de APIs.

- **Grupo 3:** tratamiento avanzado y programación sobre datos geográficos. Uso avanzado de las opciones y herramientas que proporcionan los diferentes SIG, y se amplía mediante programación de algoritmos propios y uso de librerías externas y coordinación con otros tipos de software de tratamiento de datos (software estadístico, por ejemplo).

  Tipos de datos y software utilizado: Sistemas de Información Geográfica, Librerías para el uso de datos geográficos en otros sistemas de software y Lenguajes de programación.

  Necesidades formativas: programación, uso avanzado de SIG, programación de SIG. Además de Librerías para el manejo de datos geográficos y su coordinación con SIG.

Una vez que se ha detectado y distinguido los diferentes tipos de tratamiento más repetidos respecto al uso de datos geográficos y SIG entre todos los trabajos fin de estudios desarrollados en la UR, esta publicación se presenta como un material didáctico útil y específico, tanto para docentes como para el alumnado, con un carácter eminentemente práctico acorde a las necesidades descubiertas. Con el fin último de contribuir a mejorar los sistemas de enseñanza-aprendizaje dentro del ámbito universitario.

José Ángel Llorente Adán

1 GEOLOCALIZACIÓN. SISTEMAS DE COORDENADAS EN CARTOGRAFÍA DIGITAL

Purificación Ruiz Flaño

Este apartado está destinado fundamentalmente al grupo de usuarios 01, para los que el uso de datos geográficos es tangencial. Sin embargo, no puede generarse cartografía sin conocer la base y los fundamentos sobre los que descansa la representación gráfica de la Tierra, por lo que se hace imprescindible también para el resto de usuarios.

Se entiende como geolocalización el conocimiento de la ubicación geográfica real de un objeto en la superficie terrestre. Esto se consigue, con un elevado grado de precisión, a través de los sistemas de coordenadas, los cuales permiten posicionar cualquier objeto mediante una codificación que responde una referencia común. Las dos referencias más utilizadas son las coordenadas geográficas y el sistema UTM. Pero ambas referencias, y cualquier otra que utilicemos, requieren la comprensión de conceptos geodésicos básicos relacionados con la forma de la Tierra.

1.1. Conceptos geodésicos básicos

La Geodesia es la ciencia que estudia las dimensiones y la forma de la Tierra y, por lo tanto, la que provee el marco teórico, físico y matemático para la georreferenciación y geolocalización. Los conceptos más importantes son (figura 1.1):

a) Superficie real de la tierra: La superficie de la tierra presenta una extrema complejidad topográfica, con elevaciones y depresiones naturales, que dificultan su representación real y su traslado a un plano o mapa. Por ello, hay que buscar superficies o formas de referencia equivalentes o asimilables a la superficie real.

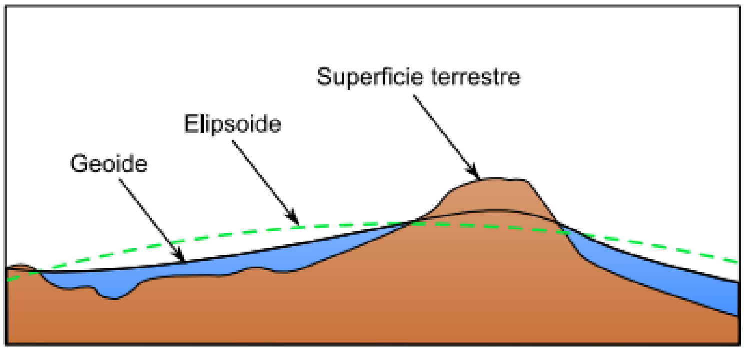


Figura 1.1. Dimensiones de la Tierra. Fuente: Olaya (2012).

b) Geoide: Es una de estas superficies de referencia. Etimológicamente significa "forma de la Tierra". Técnicamente es una superficie equipotencial en la que la dirección de la gravedad es perpendicular en todos los lugares, de manera que une todos los puntos de la superficie que tienen igual gravedad (Fernández Coppel, 2001). Su forma teórica coincide con la prolongación de la superficie de los océanos en calma por debajo de los continentes. Pero, debido a las diferentes densidades de los materiales, tampoco el geoide es una figura regular (figura 1.2), y por lo tanto es de formulación matemática muy compleja. Por ello se ha buscado una figura geométrica que se asemeje al geoide, pero de formulación matemática conocida, el elipsoide.

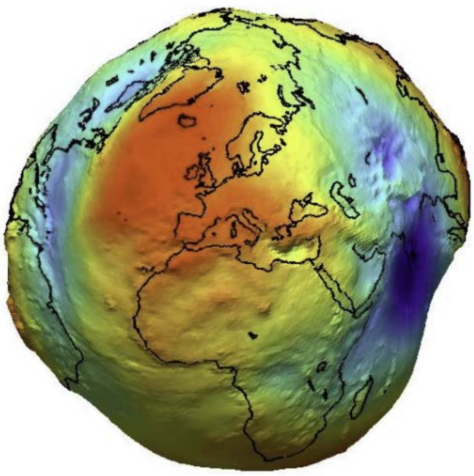


Figura 1.2. Imagen del Geoide. Fuente: Misión GOCE. Agencia Espacial Europea.

c) Elipsoide: Es la forma geométrica que mejor se adapta a la forma real de la tierra. Se obtiene al deformar una esfera y tiene la ventaja de poseer una formulación matemática conocida y por tanto más fácilmente representable (figura 1.3).

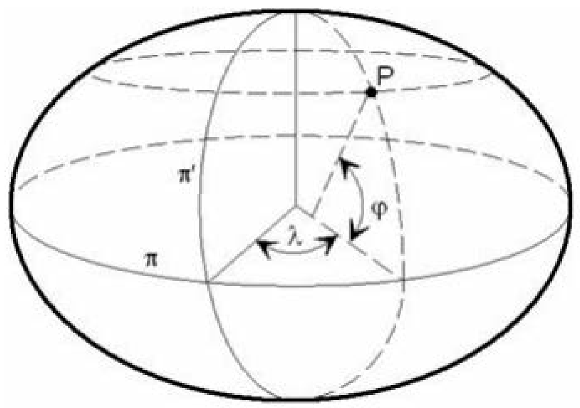


Figura 1.3. Dimensiones del elipsoide. Fuente: IGN.

En la práctica se han utilizado diferentes elipsoides de referencia. Cada país o región ha utilizado el elipsoide de referencia que mejor se ajustaba al geoide en su espacio, lo que ha dificultado las referencias comunes.

d) Datum: Es el modelo matemático definido por un elipsoide de referencia y un punto fundamental, que servirá para localizar el resto de puntos del mapa. Ese punto fundamental coincide con el lugar en el que elipsoide de referencia y geoide son tangentes. Una vez determinado el datum, puede elaborarse ya la cartografía al tener una referencia válida conocida.

En España varios han sido los datum utilizados:

- Elipsoide de referencia Struve, datum Observatorio del Retiro en Madrid. Estuvo vigente hasta 1970.
- ED50 (European Datum 1950), con elipsoide de Hayford y punto fundamental en el observatorio de Potsdam (Alemania). Se utilizó en España desde 1970 hasta 2007.
- ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), utilizado en toda Europa desde el 2007. Utiliza el elipsoide GRS80.
- REGCAN95 (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales Canarias 1995), utilizado en las Islas Canarias.
- WGS84 (World Geodetic System 1984), sistema de referencia universal utilizado por el GPS (Sistema de Posicionamiento Global del Departamento de Defensa de EEUU).

1.2. Coordenadas y localización

Una vez fijado el sistema de referencia, el siguiente paso es determinar la localización exacta de un punto mediante unos códigos comunes a los que denominamos coordenadas. En la práctica se utilizan dos sistemas de coordenadas: las coordenadas geográficas, que utilizan el sistema sexagesimal y parten de la forma esférica de la tierra; y el sistema de coordenadas UTM, que utiliza la proyección UTM.

a) Coordenadas Geográficas (figura 1.4)

Las coordenadas geográficas utilizan longitud y latitud para referenciar un punto.

- La latitud es el ángulo formado por una línea perpendicular a la superficie y el plano del Ecuador. Se mide en grados, de 0° a 90°; puede ser Norte o Sur. Su expresión podría ser 10° S (-10°).
- La longitud es la distancia angular de cualquier punto al meridiano 0 o de Greenwich. Las líneas de longitud se llaman meridianos. Se mide en 0° y 360° hacia el Este; entre 0° y 180° indicando E o bien O; entre 0° y 180° indicando valores positivos (hacia el Este) o negativos (hacia el Oeste).

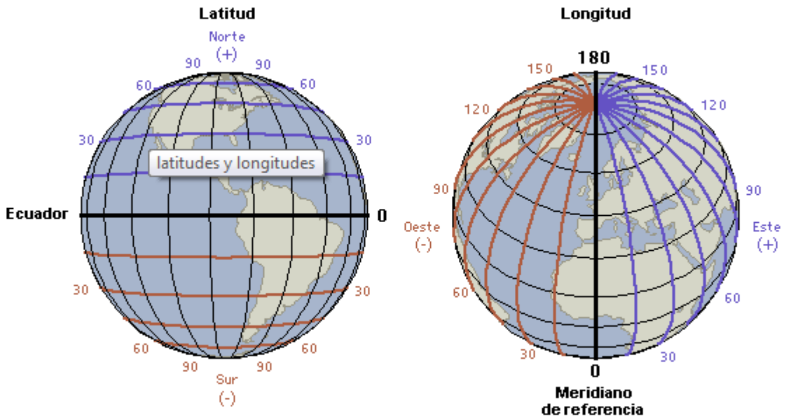


Figura 1.4. Coordenadas geográficas. Fuente: Geografía: Recursos online.

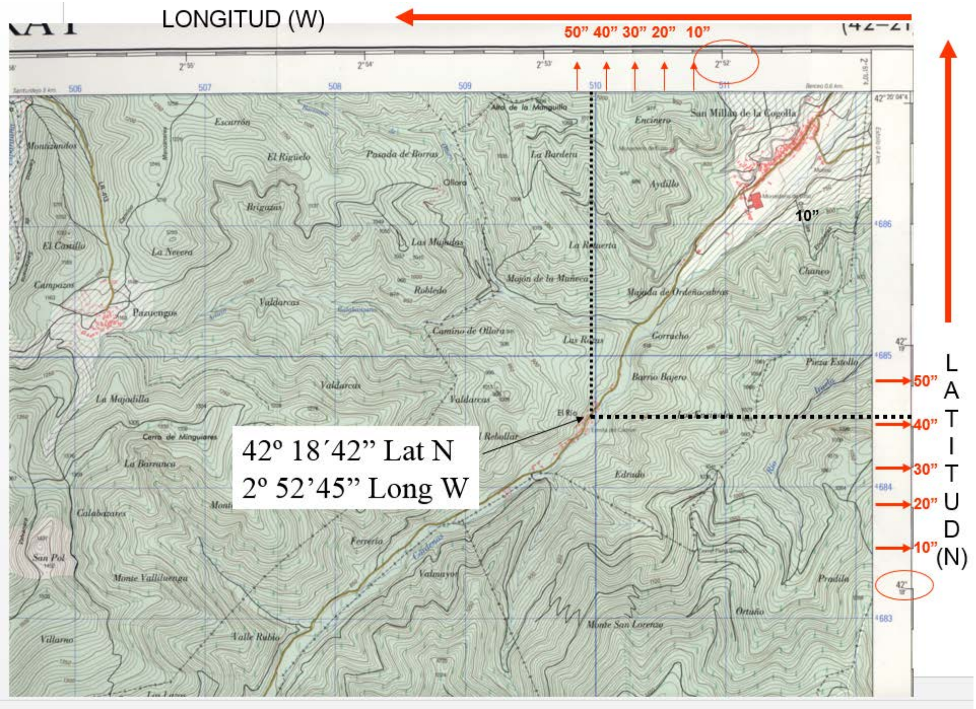


Figura 1.5. Ejemplo de localización mediante coordenadas geográficas.

b) Sistema UTM (Universal Transverse Mercator)

Las coordenadas geográficas son coordenadas esféricas, pero los mapas son representaciones planas. Por ello, se han venido utilizando diferentes sistemas para trasladar la información geográfica de la tierra (esfera) a una superficie plana. Es lo que conocemos como proyecciones cartográficas. No es el objetivo de este trabajo mostrar la enorme variedad de proyecciones existentes en la actualidad. Baste mencionar que pueden clasificarse atendiendo a sus cualidades proyectivas (superficie que utilizan para proyectar: cilíndricas, cónicas, planas...) o a la distorsión que realizan (conformes, equivalentes, equidistantes…). Para más información sobre las proyecciones puede consultarse la página web del Instituto Geográfico Nacional.

El sistema de coordenadas UTM utiliza una de estas proyecciones, la proyección Universal Transverse Mercator, más conocida por sus siglas UTM (figura 1.6). Se trata de una proyección cilíndrica, transversa (el cilindro se dispone de forma transversa o tangente a la tierra en un meridiano) y conforme (mantiene los ángulos). De acuerdo con esta proyección, los meridianos y los paralelos son líneas rectas que conforman una cuadrícula. Esta cuadrícula se divide a su vez en husos y bandas (figura 1.7). Los husos son divisiones de 6° de longitud, existiendo un total de 60, numerados de oeste a este desde el antemeridiano de Greenwich. Los husos están divididos de sur a norte por bandas, divisiones latitudinales de 8° de latitud, que se extienden desde los 80° sur a los 80° norte. Hay 20 bandas, identificadas con letras mayúsculas partiendo de la C. De esta manera, la superficie terrestre queda dividida en 1200 zonas que pueden identificarse con un número (huso) y una letra (banda). España queda incluida en las zonas 28R (Canarias), 29S, 29T, 30S, 30T, 31S y 31 T.

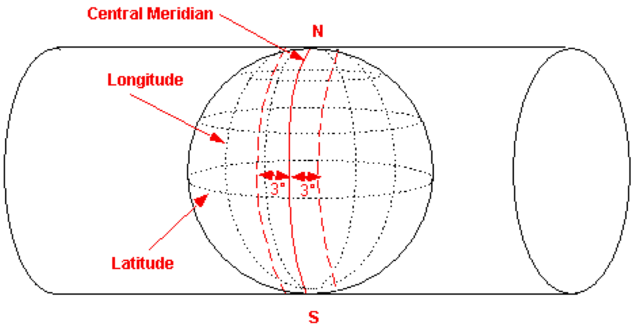


Figura 1.6. Proyección UTM

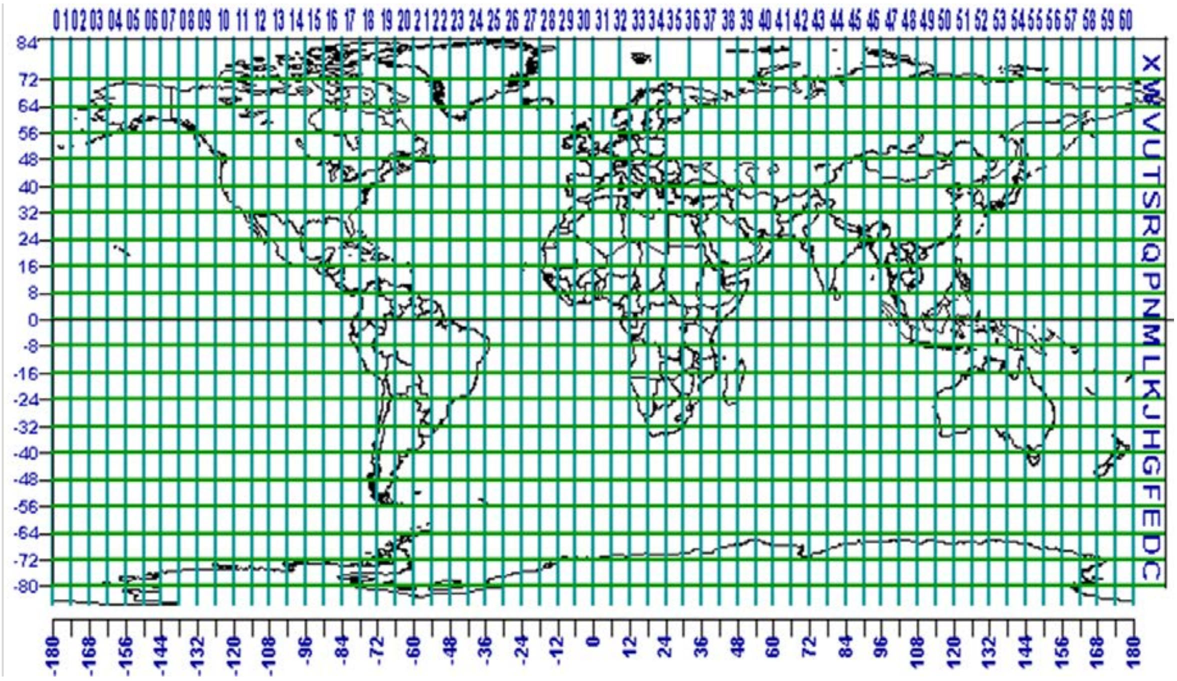


Figura 1.7. División de la superficie terrestre en husos y bandas.

Estas zonas permiten aproximaciones de mayor detalle que facilitan la localización con precisión (figura 1.8).

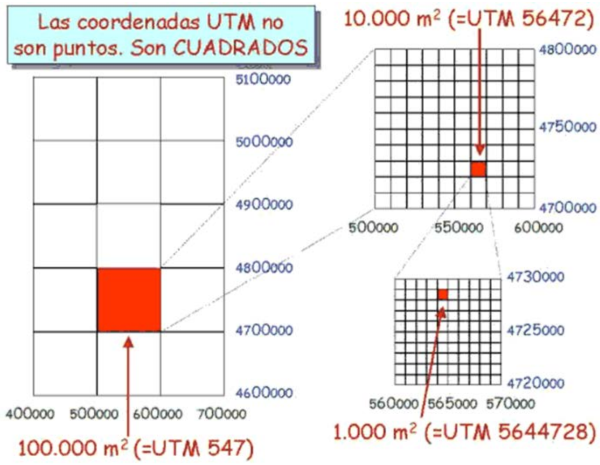


Figura 1.8. Aproximaciones sucesivas en las coordenadas UTM.

Para proceder a determinar la localización de un punto se procede de la siguiente manera (figura 1.9):

- En primer lugar, se diferencia huso y banda, que aparecen indicados en el mapa (30T).
- Se adjudican las coordenadas X e Y correspondientes a los márgenes del cuadrado de 1000 metros. Se identifica la barra lateral izquierda más próxima al punto (507) y se estima la distancia que separa el punto de esta barra en cientos de metros (800). Después se localiza la barra inferior más próxima al punto (4684) y se estima la distancia que separa el punto de esta barra inferior en cientos de metros (600).
- Las coordenadas UTM serían 30T 507800 4684600.

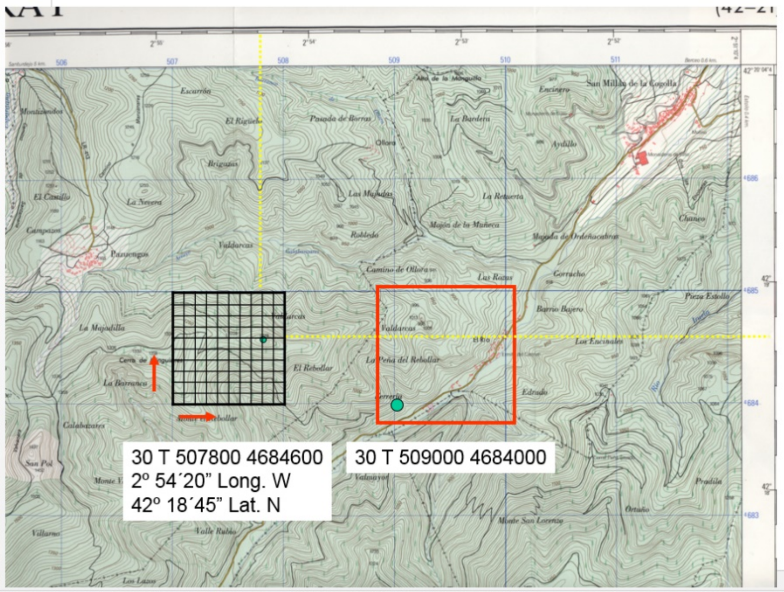


Figura 1.9. Ejemplo de localización de un punto mediante coordenadas UTM.

1.3. Visores cartográficos

La mayor parte de los visores cartográficos (Google Maps, Google Earth, IDERioja) cuentan con un sistema de localización geográfica. Uno de los más completos es el Visor Iberpix, del Instituto Geográfico Nacional (https://www.ign.es/iberpix2/visor/). Este visor presenta numerosas utilidades: permite la búsqueda de localizaciones, realiza una aproximación a mapas e imágenes de satélite a diferentes escalas, y facilita la descarga de las imágenes georreferenciadas. Puede mostrar además toponimia, cartografía histórica, categorías de ocupación del suelo, relieve (Lídar), y, por supuesto, aporta información sobre las coordenadas geográficas y UTM de los puntos seleccionados.

En las siguientes figuras (figuras 1.10 y 1.11) se muestra un ejemplo de localización con este visor. En el mapa, las coordenadas seleccionadas corresponden al Edifico del Rectorado de la Universidad. En la imagen, se ha seleccionado la entrada principal al Edifico Vives.



Figura 1.10. Mapa de un sector de Logroño con el visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional.

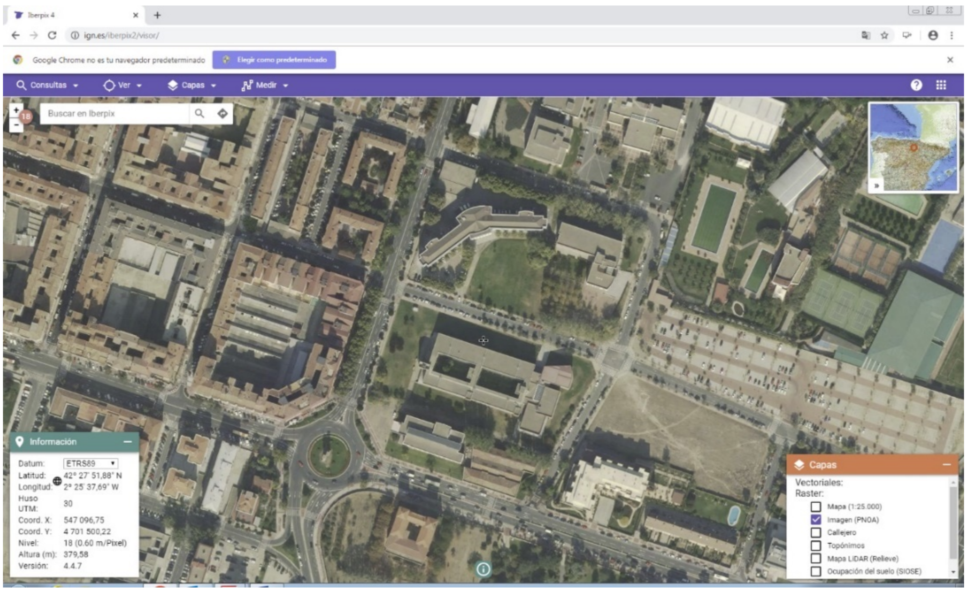


Figura 1.11. Imagen de un sector de Logroño con el visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional.

1.4. Sistemas GPS

La geolocalización experimentó un impulso muy importante con la aparición de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS), que permiten estimar la posición exacta de un objeto, con precisión métrica, utilizando una red (constelación) de satélites artificiales.

El más conocido y operativo en la actualidad es el GPS (Global Positioning System) creado por Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Los receptores GPS hacen uso de la señal que reciben de los satélites y utilizan la triangulación para conocer su posición exacta. Se necesitan al menos tres satélites de la constelación para conocer la localización geográfica y cuatro si se quiere conocer la altitud de ese punto.

Con el fin de minimizar los errores de localización que pueden producirse se ha creado el sistema GPS diferencial (figura 1.12), que utiliza una estación terrestre de referencia y posición conocida para que los receptores corrijan los posibles errores.

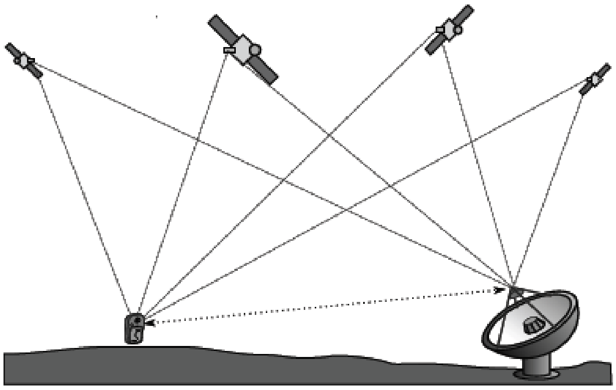


Figura 1.12. Funcionamiento de GPS diferencial. Fuente: Olaya (2012).

2. USO DE DATOS GPS (FORMATOS Y HERRAMIENTAS)

Jesús María Aransay Azofra

2.1. Introducción

Muchos de los dispositivos digitales que se usan en la actualidad tienen alguna capacidad de geolocalización o geoposicionamiento. Algunos incluyen capacidades GPS. La información que generan estos dispositivos es susceptible de ser mostrada o “cargada” sobre un mapa digital, bien sea en un SIG, en un mapa web, en una aplicación móvil, etc.

Esta información geográfica puede almacenarse en una gran variedad de formatos digitales. Esta disparidad de formatos responde a varios motivos; uno puede ser la particularidad de cada caso de uso. Un formato que se usen solo para mostrar colecciones de puntos o líneas sobre un mapa será más imple que un formato que nos permita incluir “metainformación” de cada punto de una ruta, o que otro que nos permite representar formas geométricas en un mapa, o identificar puntos en el espacio tridimensional.

En este capítulo vamos a presentar tres de los formatos más populares que permiten representar capas sobre una cartografía digital (GeoJSON, CSV y KML) poniendo el énfasis en la particularidad de cada uno de ellos y en sus casos de uso más representativos (lo cual no quiere decir que no se puedan aplicar en más contextos).

2.2. Ejemplos de formatos. GPX

El formato GPX es el acrónimo de “GPS Exchange Format”, y está pensado principalmente para describir puntos de un camino, rutas, y recorridos. El formato pertenece a la familia XML (un estándar de documentos muy extendido, usado por ejemplo también por las páginas web, HTML) y permite ver recorridos, mostrarlos sobre diversas fuentes cartográficas, y anotar puntos del mapa o asociar fotos con los mismos. Se caracteriza por ser un formato “ligero” y sencillo para envío o intercambio de rutas (y, por tanto, no adecuado para otros tipos de uso más elaborados).

Un ejemplo sencillo de un fichero en formato XML sería el siguiente:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
<gpx
 version="1.0"
 creator="OziExplorer Version 3954q - http://www.oziexplorer.com"
 xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
 xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/0"
```

```
 xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/0
http://www.topografix.com/GPX/1/0/gpx.xsd">
<time>2014-05-30T10:15:54Z</time>
<bounds minlat="42.043441" minlon="-2.691325" maxlat="42.078223"
maxlon="-2.673090"/>
<trk>
 <name>Achichuelo nuevo</name>
 <desc>achichuelo</desc>
<trkseg>
<trkpt lat="42.0676100" lon="-2.6854299">
<ele>1173.906982</ele>
<time>2007-12-11T10:05:52.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0675700" lon="-2.6854399">
<ele>1173.426514</ele>
<time>2007-12-11T10:06:54.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0674396" lon="-2.6853983">
<ele>1172.945801</ele>
<time>2007-12-11T10:07:02.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0650594" lon="-2.6877670">
<ele>1239.757324</ele>
<time>2007-12-11T10:10:46.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0478200" lon="-2.6878999">
<ele>1283.978027</ele>
<time>2007-12-11T10:36:01.000Z</time>
</trkpt>
</trkseg>
</trk>
</gpx>
```

Este fichero (y sus datos) ha sido generado directamente por un dispositivo GPS. Sin entrar en los detalles sobre los dialectos XML, sí que es de interés decir que el fichero está formado por:

1. Unas cabeceras que describen información relevante sobre el estándar que sigue la estructura del fichero, el modelo del dispositivo desde el que ha sido generado, o la codificación del mismo.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
<gpx
  version="1.0"
  creator="OziExplorer Version 3954q - http://www.oziexplorer.com"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/0"
  xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/0
http://www.topografix.com/GPX/1/0/gpx.xsd">
```

2. Algunos metadatos generales sobre la ruta descrita, como las cotas máximas y mínimas de las coordenadas o el momento en el que fue generado el fichero (distinto del tiempo de paso por cada punto de la ruta, que mostraremos más adelante):

```
<time>2014-05-30T10:15:54Z</time>
<bounds minlat="42.043441" minlon="-2.691325" maxlat="42.078223"
maxlon="-2.673090"/>
```

3. El tipo de ruta o trayecto contenido (podría ser un punto, una ruta o un recorrido). En el ejemplo mostrado, se trata de un recorrido (trk) que dispone de nombre (name) y descripción (desc) y a su vez el mismo viene definido por un segmento (trkseg), que corresponde con una lista de puntos (trkpt), cada uno de ellos con su latitud, longitud, altura, y tiempo de paso:

```
<trk>
 <name>Achichuelo nuevo</name>
 <desc>achichuelo</desc>
<trkseg>
<trkpt lat="42.0676100" lon="-2.6854299">
<ele>1173.906982</ele>
<time>2007-12-11T10:05:52.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0675700" lon="-2.6854399">
<ele>1173.426514</ele>
<time>2007-12-11T10:06:54.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0674396" lon="-2.6853983">
<ele>1172.945801</ele>
<time>2007-12-11T10:07:02.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0650594" lon="-2.6877670">
<ele>1239.757324</ele>
<time>2007-12-11T10:10:46.000Z</time>
</trkpt>
<trkpt lat="42.0478200" lon="-2.6878999">
<ele>1283.978027</ele>
<time>2007-12-11T10:36:01.000Z</time>
</trkpt>
</trkseg>
</trk>
```

En los formatos XML en general, y en el formato GPX en particular, no todos los campos son necesarios, haciendo que por ejemplo todo “trkpt” deba tener “lat” y “lon”, pero que los atributos “ele” (elevación) y “time” (tiempo de paso por ese punto) sean opciones.

Siempre y cuando el anterior fichero cumpla con las reglas definidas en el estándar GPX, al visualizarlo con un sistema de información geográfica o sobre otro soporte de cartografía digital deberíamos obtener un resultado similar al siguiente (en realidad, el fichero que hemos mostrado, por simplicidad, solo contiene algunos de los puntos del total que se muestran en la Figura 2.1).

Se puede obtener el fichero GPX completo que forma la anterior ruta en el siguiente enlace:

https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/datos_ejemplo/ruta_gps_achichuelo_nuevo.gpx

Para una descripción técnica completa del formato GPX recomendamos la propia definición del “schema” XML, disponible en la siguiente dirección:

https://www.topografix.com/GPX/1/1/

Como se ha podido ver en lo anteriores ejemplos, el formato GPX destaca por su capacidad para almacenar grandes colecciones de puntos (o rutas) con una mínima información de los mismos que permita “reconstruir” rutas realizadas o descripciones de recorridos.

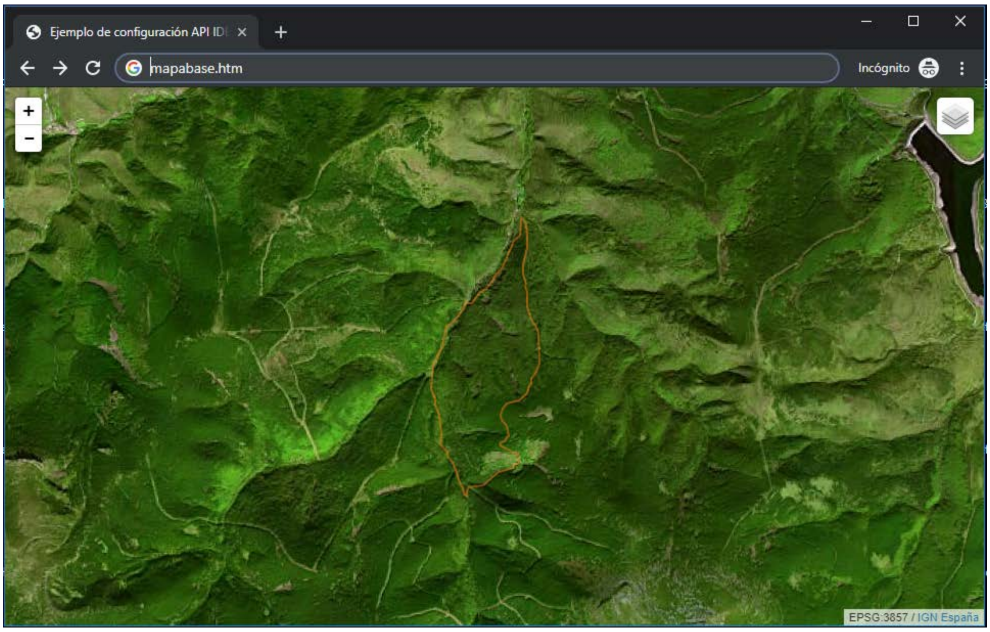


Figura 2.1. Ejemplo de visualización de fichero GPX.

2.3 Ejemplos de formatos. KML

El formato KML (Keyhole Markup Language) es un formato de presentación de información y anotado de mapas en dos y tres dimensiones. También es un dialecto de XML (aunque con propósito diferente que GPX). Si bien fue inicialmente desarrollado por la empresa Keyhole, Inc., la misma fue adquirida por Google en 2004, y el formato se convirtió en un estándar internacional del Open Geospatial Consortium en 2008.

Su propósito original fue la definición de formas geométricas (dos y tres dimensionales) sobre Google Earth (con el paso de los años ha ido siendo adoptado por muchas más herramientas) que pudieran estar anotadas de forma más "rica" que en formato GPX (más orientado al simple almacenamiento de rutas). Por su propio propósito, KML es un lenguaje que ofrece muchas más opciones que GPX. En esta sección solo mostraremos algunos ejemplos de uso, recomendando al lector interesado la documentación más exhaustiva del Open Geospatial Consortium (https://www.opengeospatial.org/standards/kml/).

A continuación, mostramos un ejemplo de código kml (se puede ver su visualización en la Figura 2.2):

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Placemark>
<name>Marca de posición simple</name>
<description> Se coloca de forma automática a la altura del relieve
subyacente.</description>
<Point>
<coordinates>-122.0822035425683,37.42228990140251,0</coordinates>
</Point>
</Placemark>
</kml>
```

Entre las similitudes con el formato GPX, se puede enumerar que es KML es un dialecto de XML, y pr eso requiere el uso las etiquetas anidadas que definen cada uno de los elementos de la forma que genera la capa KML (en este caso, un punto y su marcador).

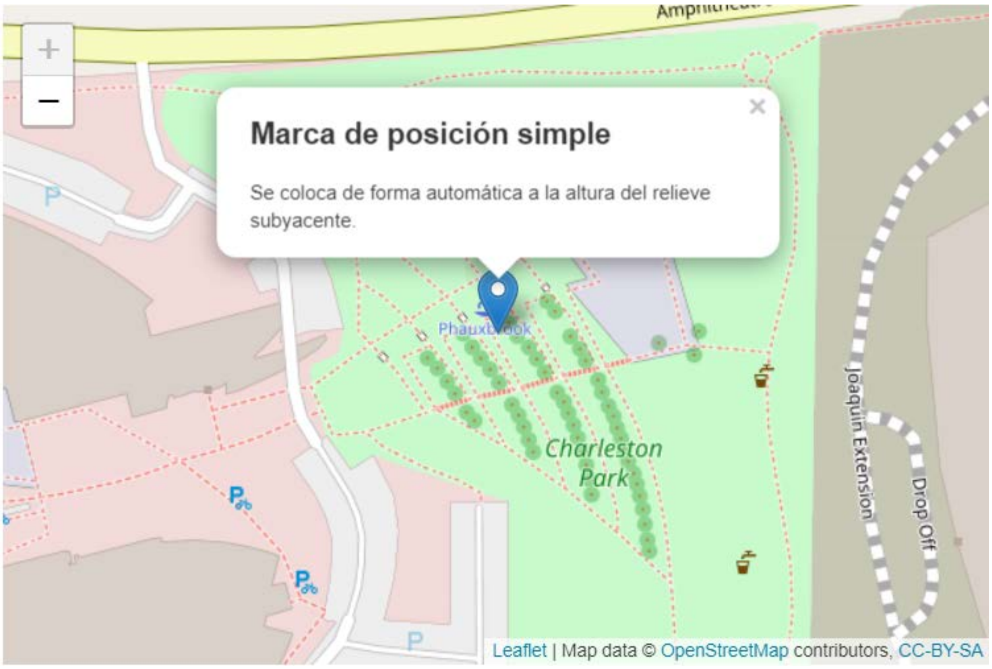


Figura 2.2. Ejemplo de visualización de fichero KML. Punto.

Sobre las diferencias con GPX, es importante reseñar la mayor complejidad (desde el punto de vista de las formas geométricas y tridimensionales que se pueden representar) que pueden contener los ficheros KML. Veamos un segundo ejemplo donde lo que hacemos es mostrar una imagen en una "caja" de coordenadas dadas (en este caso, se muestra una imagen de la erupción del Etna en el año 2001 sobre un mapa base de OpenStreetMap:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Folder>
<name>Superposiciones de suelo</name>
<description>Ejemplos de superposiciones de suelo</description>
<GroundOverlay>
<name>Superposición a gran escala sobre relieve</name>
 <description>La superposición muestra la erupción del Etna el 13 de julio de 2001.</description>
<Icon>
<href>http://developers.google.com/kml/documentation/images/etna.jpg</href>
</Icon>
<LatLonBox>
<north>37.91904192681665</north>
<south>37.46543388598137</south>
<east>15.35832653742206</east>
<west>14.60128369746704</west>
<rotation>-0.1556640799496235</rotation>
</LatLonBox>
</GroundOverlay>
</Folder>
</kml>
```

El resultado de la anterior superposición sería la siguiente capa sobre el mapa base de OpenStreetMap (ver Figura 2.3):



Figura 2.3. Ejemplo de visualización de fichero KML. Superposición.

En el siguiente ejemplo mostramos una "multigeometría", dada por dos líneas, que se muestran sobre el mismo mapa:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Placemark>
  <name>SF Marina Harbor Master</name>
  <visibility>0</visibility>
  <MultiGeometry>
    <LineString>
      <coordinates>
        -122.4425587930444,37.80666418607323,0
        -122.4428379594768,37.80663578323093,0
      </coordinates>
    </LineString>
    <LineString>
      <coordinates>
        -122.4425509770566,37.80662588061205,0
        -122.4428340530617,37.8065999493009,0
      </coordinates>
    </LineString>
  </MultiGeometry>
</Placemark>
```

Mostramos el resultado en la Figura 2.4.

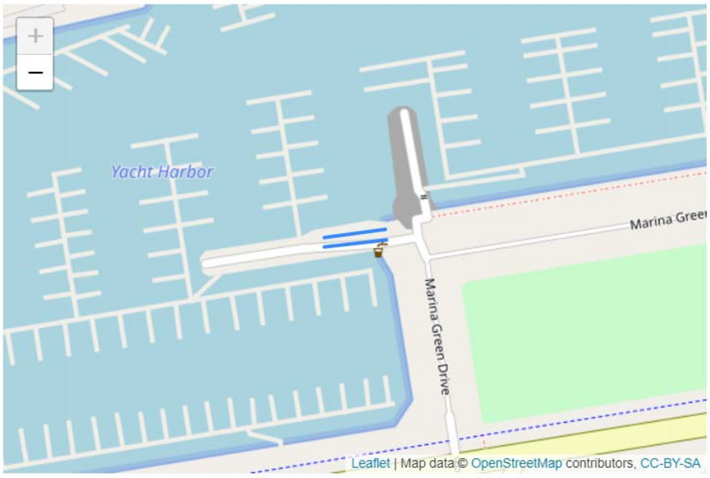


Figura 2.4. Ejemplo de visualización de fichero KML. Multigeometría.

La definición de polígonos también resulta sencilla (en este caso particular, de un cuadrado, del cual damos sus cuatro coordenadas, y de nuevo la primera, para dar lugar a una estructura “cerrada”:

```
<Placemark>
  <name>LinearRing.kml</name>
  <Polygon>
    <outerBoundaryIs>
      <LinearRing>
        <coordinates>
          -122.365662,37.826988,0
          -122.365202,37.826302,0
          -122.364581,37.82655,0
          -122.365038,37.827237,0
          -122.365662,37.826988,0
        </coordinates>
      </LinearRing>
    </outerBoundaryIs>
  </Polygon>
</Placemark>
```

El resultado obtenido sería el mostrado en la Figura 2.5.



Figura 2.5. Ejemplo de visualización de fichero KML. Polígono.

Para un referencia completa de los elementos que se pueden incluir en una capa KML recomendamos a los lectores interesados a la página de documentación de Google sobre el formato (https://developers.google.com/kml), donde se puede encontrar un amplio rango de ejemplos, o también a la página del Open Geospatial Consortium (https://www.opengeospatial.org/standards/kml/), donde se dispone de una información más técnica.

Los ficheros KML pueden generarse "a mano", conociendo los elementos y etiquetas de que dispone el lenguaje, o también a través de las herramientas propias de Google (Google Earth y Google Maps) donde existen herramientas gráficas que permiten generar y anotar información en mapas, y generar después los ficheros KML correspondientes.

2.4. Ejemplos de formatos. GeoJSON

GeoJSON es un formato de estándar abierto diseñado para representar formas geométricas sencillas y atributos de las mismas. El lenguaje está basado en JSON (Javascript Object Notation), un estándar de comunicación de datos en Internet basado en Javascript pero soportado en la actualidad por casi todos los lenguajes de programación.

El estándar de GeoJSON, como los mantenidos por el IETF (el grupo de trabajo que mantiene la mayor parte de los estándares usados en Internet) está disponible como un documento RFC (Request for Comments) disponible en https://tools.ietf.org/html/rfc7946. En el mismo se detalla la lista de formas (u objetos, en la notación del estándar) geométricas que podemos definir en un fichero GeoJSON (que incluye puntos -- points --, cadenas de líneas --LineString --, polígonos -- polygon --) y colecciones de los anteriores objetos (--MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon y GeometryCollection).

Lo siguiente son ejemplos de definición de objetos geométricos en GeoJSON:

Ejemplo 01: Punto.

```
{ "type": "Point", "coordinates": [-104.99404, 39.75621] }
```

Ejemplo 02: Línea.

```
{ "type": "LineString", "coordinates": [[-100, 40], [-105, 45], [-
110, 55]] }
```

Ejemplo 03: Múltiples líneas.

```
{       "type": "MultiLineString",       "coordinates": [ [         [170.0,
45.0], [180.0, 45.0]          ], [              [-180.0, 45.0], [-170.0,
45.0]           ]       ]   }
```

Ejemplo 04: Múltiples polígonos (los polígonos son "cerrados", y por eso su primera y última coordenada coinciden).

```
{       "type": "MultiPolygon",       "coordinates": [          [
[       [180.0, 40.0], [180.0, 50.0], [170.0, 50.0],
[170.0, 40.0], [180.0, 40.0]               ]           ],          [
[                   [-170.0, 40.0], [-170.0, 50.0], [-180.0, 50.0],
[-180.0, 40.0], [-170.0, 40.0]               ]           ]       ]
}
```

A partir de una forma geométrica, se definen otro tipo de objetos, conocidos como características – Features –, que son características, propiedades o información que se pueden asociar a las formas geométricas.

Los ficheros GeoJSON quizá no resulten tan legibles como los ficheros GPX, que contienes información más detallada sobre sus contenidos, pero a cambio son más "ligeros" (ocupan menos) lo cual hace que sean más fáciles y más rápidos de enviar a través de la red (y también más sencillos de almacenar).

```
{ "type": "Feature",
      "properties":  {  "name":  "Coors  Field",  "amenity":  "Baseball
Stadium", "popupContent": "This is where the Rockies play!" },
      "geometry":  {  "type":  "Point",  "coordinates":  [-104.99404,
39.75621] }
}
```

En el siguiente enlace podemos ver un ejemplo un poco más avanzado de uso de GeoJSON. En el mismo se muestran los códigos postales de la ciudad de Chicago.

https://github.com/smartchicago/chicago-atlas/blob/master/db/import/zipcodes.geojson

El código GeoJSON que ha dado lugar al anterior mapa está disponible en el siguiente enlace:

https://raw.githubusercontent.com/smartchicago/chicago-atlas/master/db/import/zipcodes.geojson

La estructura del anterior fichero GeoJSON es un "FeatureCollection" formado a su vez por "Features" dadas cada una de ellas por un polígono, uno por cada código postal, y unas "Features" asociadas en la forma de los códigos postales de las regiones adyacentes, el código postal de la zona, y las áreas adyacentes.

Recomendamos también la siguiente página web para poder conocer e identificar los distintos elementos disponibles en el formato GeoJSON:

http://geojsonlint.com/

En el siguiente enlace también hay disponibles ejemplos de ficheros GeoJSON del servicio IDERIoja con capas representando árboles singulares, zonas protegidas, cotos de caza y pesca, etc.

https://github.com/iderioja/base_datos_geografica

Finalmente, en el Capítulo 7 de este manual, se verá el resultado de visualizar o cargar capas GeoJSON con las APIs de IDERioja y de Leaflet para navegadores web y aplicaciones móviles.

2.5. Ejemplos de formatos. Shapefile

Otro formato de fichero que se ha convertido en un "estándar de facto" para información geográfica es el formato Shapefile. El mismo es un formato propietario de ESRI (Environmental Systems Research Institute) aunque la mayor parte del estándar está liberado y es de uso gratuito para. Se utiliza para almacenar ubicaciones geométricas de entidades geográficas, así como la información y atributos de esas entidades geográficas.

Los atributos de las entidades geográficas vienen almacenados en tablas de bases de datos, y aquí también se soportan varios formatos, como tablas dBase (extensión dbf) o ficheros de texto (extensión txt).

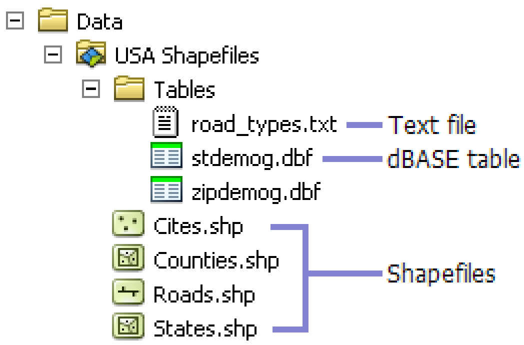


Figura 2.6. Ejemplo de fichero shapefile con sus contenidos.

En la Figura 2.6 (imagen tomada de www.arcgis.com) podemos ver una colección de ficheros shapefile (Cites.shp, Counties.shp, Roads.shp y States.shp) cuyos atributos vienen definidos en las "Tables" que también forman parte del fichero (road_types.txt, stdemog.dbf y zipdemog.dbf). Por este motivo, los shapefiles se suelen distribuir como ficheros "empaquetados" (por ejemplo, en formato "zip"), que al desempaquetarlo dan lugar a una carpeta con la colección de ficheros que antes hemos mostrado.

En la actualidad, la mayor parte los sistemas GIS soportan este formato.

3 CARTOGRAFÍA DIGITAL

José Ángel Llorente Adán

Este apartado está destinado fundamentalmente al grupo de usuarios 01, para los que el uso de datos geográficos es tangencial. Sin embargo, no puede generarse cartografía sin conocer la base y los fundamentos sobre los que descansa la representación gráfica de la Tierra, por lo que se hace imprescindible también para el resto de usuarios.

Se entiende como geolocalización el conocimiento de la ubicación geográfica real de un objeto en la superficie terrestre. Esto se consigue, con un elevado grado de precisión, a través de los sistemas de coordenadas, los cuales permiten posicionar cualquier objeto mediante una codificación que responde una referencia común. Las dos referencias más utilizadas son las coordenadas geográficas y el sistema UTM. Pero ambas referencias, y cualquier otra que utilicemos, requieren la comprensión de conceptos geodésicos básicos relacionados con la forma de la Tierra.

3.1. Breve evolución cartográfica

A lo largo de las distintas épocas históricas la cartografía se ha representado sobre distintos tipos de materiales como el papiro, la madera, la piedra o el papel, entre otros. Cualquier aspecto de la cartografía ha evolucionado durante todo este tiempo; las propias representaciones del mundo conocido en cada momento fueron ampliándose conforme se conocían nuevos territorios, la precisión con la que aparecen los espacios representados, los avances técnicos, la escala de las propias representaciones cartográficas, etc.

A partir de mediados del pasado siglo XX tiene lugar un conjunto de fenómenos que contribuirán al desarrollo y difusión de la denominada cartografía digital. Los medios y avances técnicos van a permitir el uso generalizado de la cartografía, que se suma al aumento de la demanda, así como a la mayor disponibilidad de datos espaciales y de técnicas para su análisis.

Hasta entonces las limitaciones de las representaciones cartográficas eran muy numerosas, al disponer de diferentes criterios de representación entre editoriales, la diferente autoría de las distintas hojas que conforman una misma serie cartográfica presentaba diferencias significativas entre ellas. Por todos estos motivos y otros muchos, la posibilidad de combinar información de diferentes mapas resultaba muy compleja e inexacta, hasta el desarrollo de los denominados Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Además, otra característica limitante hasta la llegada de la cartografía digital era que los mapas tardaban mucho en actualizarse debido a su alto coste de impresión, por lo que solían quedarse

atrasados frente a una realidad cambiante cada vez más acelerada. De la misma manera, la escasa disposición de mapas y sus costosas técnicas de realización hacía que, con frecuencia, estas representaciones espaciales se convirtiesen en auténticas joyas a nivel científico y artístico (Clarck y Black, 2006). El posterior desarrollo de la cartografía digital, paralelo al desarrollo de los propios avances informáticos, así como la incorporación de técnicas como la teledetección, entre otras, multiplicará el número de mapas y aumentará la precisión de los mismos como nunca hasta entonces.





Figura 3.1. En primer lugar, una tablilla de arcilla (600 a. de C.) que representa la visión babilónica del mundo. La ciudad ocupa el rectángulo situado encima del centro, al norte aparecen unas montañas y el río Eúfrates que desemboca en el golfo Pérsico. En la segunda imagen, el anillo circundante representa los océanos del mundo. La segunda imagen es el mapamundi de al-Idrisi de 1154, de gran valor para la época al superar a otros mapas del momento por su utilización de paralelos curvos.



Figura 3.2. Nove Totius terrarum Orbis Geographica Ac Hydrographica Tabula, del “Atlantis Maioris Appendix”, grabado por Kaerius y editado por Hondius y Jansson en Amsterdam (s. XVII)

En el pasado, la mayor parte de las representaciones cartográficas fueron topográficas hasta que con la cartografía digital se multiplicaron las de carácter temático. Lo que abrió así la posibilidad de representar infinidad de aspectos a campos de estudio y de observación que, tradicionalmente, no aplicaban el saber cartográfico. De este modo, las distribuciones de fenómenos o variables sobre el espacio de cualquier ámbito científico tienen su representación espacial. En este sentido, la demanda de representaciones cartográficas proveniente de una enorme cantidad de líneas de investigación que han sumado la cartografía a sus análisis de estudio. A ello ha contribuido también la facilidad de combinación de mapas digitales, que permite comparar, combinar, distintos aspectos cualitativos o cuantitativos de uno o varios fenómenos, como se verá en capítulos siguientes.

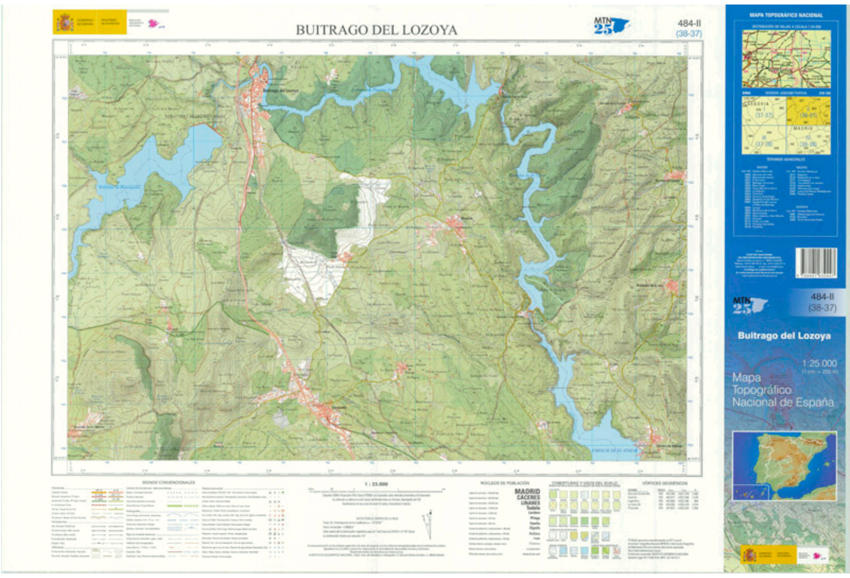


Figura 3.3. Buitrago del Lozoya (Madrid). Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 (484-II) (2017). (Fuente: https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/031609.html)

Por otro lado, los crecientes estudios sobre el territorio, la evolución del paisaje, la geopolítica, la seguridad de las personas, entre otros, obligan a un mayor conocimiento del espacio con el fin de observar y controlar las diferentes dinámicas que se generan en la superficie terrestre, desde los procesos naturales a las alteraciones que el ser humano ejerce sobre el espacio físico. Todo ello convierte a los mapas en auténticas fuentes de información de lo más valioso y actualizado. Es lo que sucede con cualquiera línea de investigación científica de cualquier ámbito de estudio, como por ejemplo con las ciencias de la Tierra, sociales, económicas, de la salud, etc.

La mayor parte de la información que se maneja en el día a día está georreferenciada, es decir, es información que lleva asignada una posición geográfica, que permite indicar su localización, como se ha visto en el apartado de georreferenciación. Es decir, al tradicional manejo informático de datos inventariables u hojas de cálculo se le añade el dato de la geolocalización. Este ha sido el principal razonamiento por el que la Geografía ha pasado de encontrarse en un ámbito particular a ser fundamental para la mayor parte de las disciplinas científicas.

El desarrollo de las nuevas tecnologías y las dinámicas de globalización han promovido la denominada sociedad de las tecnologías y de la información, desde hace ya unas décadas,

favoreciendo la utilización de ordenadores cada vez más potentes, al menos entre la mayor parte de la población de los llamados países desarrollados. Esto ha tenido los consiguientes resultados:

- La disposición y el manejo de una creciente cantidad de información y datos al servicio del ciudadano.
- Una mayor interconexión entre personas o espacios alejados geográficamente. Prueba de ello son las nuevas formas de comunicación a partir de las redes sociales, gracias a la generalización de Internet en la mayor parte de los hogares, teléfonos móviles...
- Un gran desarrollo y avance en herramientas de digitalización y automatización de la cartografía, como pueden ser los Sistemas de Información Geográfica, a los que se aludirá más adelante. Estos sistemas informáticos permiten desarrollar una gestión y ordenación del territorio en distintos ámbitos, desde los catastrales, la gestión forestal, hidrológica, sanitaria, educativa, estadística, entre otras muchas disciplinas.

Todos estos resultados se pueden apreciar, por ejemplo, con el desarrollo de las propias Infraestructuras de Dados Espaciales (IDE) de cada región o país, consideradas por autores como Bernabé et al. (2007) uno de los proyectos más ambiciosos de las últimas dos décadas. Las IDEs permiten a los usuarios disponer de una gran cantidad de información cartográfica georreferenciada, de manera libre y a través de Internet, visualizarla e incluso combinarla para generar nuevas bases cartográficas, que, posteriormente, pueden ser incorporadas a sus trabajos o estudios., mediante programas estándares comunes que garanticen la interoperabilidad a nivel de sistemas, archivos, formatos, etc.



Figura 3.4. Portal de Infraestructura de Datos Espaciales Gobierno de La Rioja (IDERioja) (2019) (Fuente: https://www.iderioja.larioja.org/)

Por todo ello, entre las ventajas que se consiguen con el manejo de información espacial a partir de los SIGs es la combinación y el cruce de una enorme cantidad de datos, nunca utilizado hasta entonces, que proporcionan, a su vez, nueva información geográfica de interés. Lo que permite ampliar nuevas perspectivas de estudio y avanzar, así, en el análisis del campo científico en el que se aplique. En definitiva, se trata de incorporar el componente espacial susceptible de ser estudiado desde cualquier disciplina científica.

3.2. La cartografía digital en el ámbito universitario

La incorporación de la cartografía digital al ámbito académico universitario es una cuestión relativamente reciente si se tiene en cuenta la larga trayectoria de la propia cartografía.

La progresiva utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en las aulas de los diferentes sistemas educativos ha sido paralelo a las nuevas demandas que la propia sociedad ha ido necesitando. Un concepto más novedoso y aplicable a los sistemas de enseñanza aprendizaje es el utilizado para aludir a las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), que incluye las TIC pero desde una perspectiva pedagógica con el fin de que el alumnado adquiera un aprendizaje significativo real. Sea desde el punto de vista que sea, el fin último de la incorporación de las Tecnologías de la Información y el Conocimiento es la mejora de la formación del egresado para conseguir personas con una formación cualificada que puedan responder con solvencia a cuestiones habituales del presente, así como a las necesidades del mercado laboral.

Esta gradual incorporación digital a todos los niveles de enseñanza ya está más que consolidada. Lo que no evita que, hoy en día, los programas informáticos o el tratamiento de información digital siga siendo un auténtico reto para toda la comunidad educativa, desde los profesores a los alumnos, pero también para las propias instituciones académicas (Vázquez Cano y Sevillano García, 2014) Ante este desafío es donde se contextualiza el presente material didáctico.

Por todo ello, dentro del Espacio Europeo de Educación Superior, es habitual encontrar grados o másteres que incorporan las TIC a los programas de sus asignaturas bien como medio, herramienta o fin indispensable para alcanzar los objetivos propuestos en las guías docentes. Es el caso de materias que utilizan SIGs como base de su fundamento metodológico. (Nieto Masot, 2010) Las investigaciones realizadas al respecto demuestran cómo la utilización de dispositivos electrónicos puede llegar a ser un recurso muy útil en el tratamiento de la información, en el acceso y creación de contenidos y en el desarrollo de competencias genéricas (Vázquez Cano y Sevillano García, 2014).

De acuerdo con De Lázaro Torres et al. (2019), la integración de los SIG al ámbito universitario debe realizarse de forma directa, sintética y aplicada a la asignatura a impartir. Hecho que debe conllevar un diseño pedagógico previo de actividades o material didáctico, que aúne contenido pedagógico y tecnológico al mismo tiempo que se adquiere contenidos específicos científicos de cada materia. La finalidad de estas acciones debe ser la mejora en la empleabilidad y la adquisición de competencias SIG de la comunidad universitaria.



Figura 3.5. Comparación espacio-temporal del entorno del campus de la Universidad de La Rioja en la ciudad de Logroño entre 1946 y 2017. Visualizador regional de IDERioja. Ortofoto Regional de 1946 y de 2017. (Fuente: https://visor2.iderioja.larioja.org/mapa.php)

Por todo ello un equipo interdisciplinar de profesores de la Universidad de La Rioja (UR) lleva más de tres años trabajando en este sentido con el firme propósito de aunar esfuerzos para tratar en común la utilización y aplicación de datos geográficos y Sistemas de Información Geográfica en el campus riojano. Prueba de ello son las diez titulaciones de las 26 ofertadas en la UR y que incorporan en sus guías docentes criterios, contenidos u objetivos relacionados con datos geográficos (Andrades et al., 2018).

Entre las conclusiones extraídas de esta línea de investigación por este grupo de profesores universitarios se encuentra la detección y análisis de los distintos niveles de profundidad con los que son tratados los datos geográficos o los propios Sistemas de Información Cartográfica (software empleado, fuentes de recursos geográficos utilizados, etc.) y para ello se revisaron todos y cada uno de los Trabajos Fin de Estudio (TFG), Trabajos Fin de Máster (TFM) y Tesis doctorales

defendidas en dicha universidad pública. A partir de este trabajo se distinguieron tres grupos, que responde a los distintos niveles detectados de profundización e intensidad en el tratamiento de información geográfica. (Llorente-Adán et al., 2019) A estos se les pretende dar respuesta y apoyo, precisamente, con el material didáctico que en esta publicación se presenta, como herramienta que uniformice el tratamiento de datos geográficos y sirva de guía tanto al alumnado como al profesorado universitario.

4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. FUNCIONES BÁSICAS

Marisol Andrades Rodríguez y Mª Paz Diago Santamaría

4.1. Definición y principales componentes de un SIG

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión. De forma más sintética, un SIG es una base de datos espacial (Vicente y Behm 2008).

El primer SIG fue el CGIS (Canadian Geographical Information System), desarrollado a principios de la década de los 60 por Roger Tomlison, y sus orígenes están ligados a la gestión forestal y la planificación urbanística (Wieczorek y Delmerico). Los primeros paquetes de software fueron creados por Harvard Laboratory en Estados Unidos (SYMAP en 1964, GRID en 1969) y la Experimental Cartography Unit (Reino Unido). En 1969, Jack Dangermond, que formaba parte de Harvard Laboratory fundó junto a su esposa la empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI), pionera y líder absoluto de la industria del software de SIG

Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial (Figura 4.1).

La mayoría de los elementos que existen en la naturaleza pueden ser representados mediante formas geométricas (puntos, líneas o polígonos, esto es, vectores) o mediante celdillas con información (ráster). Son formas de ilustrar el espacio intuitivas y versátiles, que ayudan a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

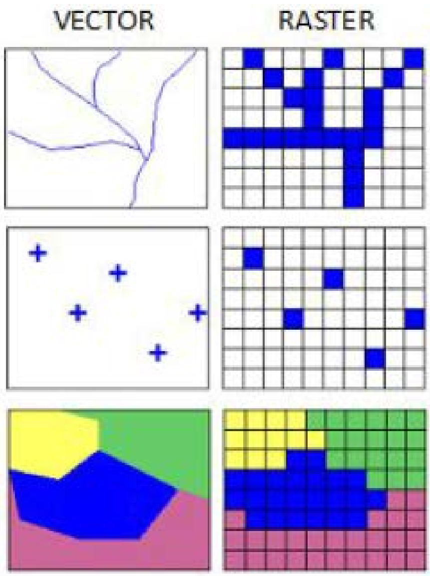


Figura 4.1. Ejemplos de datos de tipo vector y ráster en un SIG.

Los formatos SIG vectoriales más populares y extendidos con los que trabajar en un proyecto SIG para almacenar datos espaciales son los siguientes:

- Shapefile (SHP): Es el formato más extendido. Es un formato propiedad de ESRI, pero la mayoría de softwares de SIG son compatibles con este sistema de archivos. Un shapefile se compone de varios ficheros que un SIG lee como uno único. El mínimo requerido es de tres: el .shp almacena las entidades geométricas, el .shx almacena el índice de las entidades geométricas y el .dbf es la base de datos, en formato dBASE. Este formato se ha convertido en oficial para muchas instituciones, ya que puede convertirse a otros tipos de formatos con relativa facilidad.

- Comma-separated values (CSV): Representa datos en forma de tabla. Sirve para almacenar información alfanumérica con la posibilidad de almacenar las coordenadas. Presentan la ventaja de que ocupan poco espacio y es fácil compartirlos.

- DWG: DWG es el formato de CAD (utilizado principalmente por el programa AutoCAD), para facilitar la lectura de este tipo de archivos por parte de otros programas. Para ello se utilizó un archivo de intercambio: el **DXF** (*Drawing eXchange File*). Basta con convertir los archivos CAD a otro formato, como a shapefile y georreferenciarlo para disponer de la cartografía.

- KML/KMZ: Este formato fue desarrollado inicialmente para Google Earth. Sin embargo, desde el año 2008 KML es estándar de la OGC (Open Geospatial Consortium). KML significa *Keyhole Markup Language*, y es un lenguaje para representar datos geográficos en tres dimensiones. Los ficheros KML suelen distribuirse comprimidos como ficheros KMZ, que además pueden guardar archivos de imágenes y otra información asociada.

- Otros: GPX, GeoPackage, etc (https://mappinggis.com)

De forma resumida, un SIG incorpora tres subsistemas clave, cada uno de ellos encargado de una serie de funciones particulares (ESRI 2003):

- Subsistema de datos. Se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, y la gestión de estos dentro del SIG. Permite a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- Subsistema de visualización y creación cartográfica. Crea representaciones a partir de los datos (mapas, leyendas, etc.), permitiendo así la interacción con ellos. Entre otras, incorpora también las funcionalidades de edición.
- Subsistema de análisis. Contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

Otra descripción de los componentes de los SIG desciende a los elementos básicos, que son: los DATOS, el SOFTWARE, el HARDWARE, los MÉTODOS o PROCEDIMIENTOS y los RECURSOS HUMANOS.

- Datos: Los datos son el elemento principal para conseguir una correcta información. Los datos representan los atributos, características descriptivas y el tipo de geometría de los elementos espaciales del mundo real.
- Software: Es el Sistema informático lógico, que proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Debe:
    - Gestionar la entrada y manipulación de los datos
    - Administrar bases de datos
    - Soportar consultas, análisis y visualización de los datos geográficos
    - Disponer de una interfaz gráfica de usuario (GUI)
- Hardware: Equipo informático físico que soporta y opera el software. Está integrado por las computadoras en las que se desarrollan las tareas de administración y operación del software, así como por los servidores de almacenamiento de datos y ejecución de ciertos procesos, periféricos y otros components informáticos.
- Métodos/Procedimientos: Son modelos y prácticas operativas de cada organización. [E.S.R.I., 2001]. Incluyen las técnicas y metodologías que permiten realizar los diferentes análisis.
- Recursos Humanos: personal adecuado que opera, desarrolla y administra el sistema. Entre los usuarios de SIG se encuentran los especialistas técnicos, que diseñan y mantienen el sistema para aquellos que los utilizan diariamente en su trabajo.

4.2. Funcionalidades básicas de los SIG

Georreferenciación (Georreferencing): Se refiere a la capacidad de especificar la localización espacial de un dato geográfico. "Georreferenciar" hace referencia a cualquier método que es capaz de enlazar un elemento (punto, línea o polígono) con su localización en un GIS. La Figura 4.2 muestra un ejemplo de georreferenciación de un punto correspondiente a la localización del edificio de una bodega.



Figura 4.2. Ejemplo de georreferenciación de un punto. Posición y coordenadas geográficas.

Proximidad y cálculo de distancia y áreas (Adjacency/Distance and Area measurement): Una de las principales funcionalidades de los SIG es la medición de distancias entre objetos, así como la identificación de aquellos objetos que están adyacentes.

Las herramientas de proximidad pueden dividirse en dos categorías o grupos, según el tipo de entrada que admitan: entidad o ráster. Las herramientas que tienen como tipo de entrada entidades pueden dar lugar a distintos tipos de salida. Entre estas se incluyen:

- Distancia de punto: calcula la distancia desde cada punto en una entidad hasta todos los puntos que se encuentran en un radio de búsqueda determinado en otra clase de entidad.
- Zona de influencia: esta herramienta crea entidades de área a una distancia específica alrededor de las entidades de entrada.
- Cerca: esta herramienta determina la distancia desde cada punto en una clase de entidad hasta la entidad de punto o de línea más cercana en otra clase de entidad.

En la categoría de herramientas de proximidad cuya entrada es un ráster podemos encontrar:

- Distancia Euclidea. La distancia euclidiana es una distancia en línea recta, o una distancia medida "a vuelo de pájaro". Con esta herramienta se miden las distancias desde el centro de las celdas de origen en el ráster, hasta el centro de las celdas de destino. Además del cálculo o medida de distancia euclidiana existen otras herramientas o variantes basadas

en esta medida, que permiten identificar las localizaciones más cercanas a un punto dado (Asignación euclidiana) o la dirección de la entidad más cercana (Dirección euclidiana).

– Herramientas de Coste de distancia. A diferencia de las herramientas basadas en la Distancia Euclidea, estos conjuntos de herramientas tienen también en cuenta que la distancia se puede valorar o medir como un coste (por ejemplo, consumo de energía, peligro, tiempo, entre otros) y que este coste puede ser variable en función del terreno o sus condiciones.

Consulta de datos (Querying data): Como en cualquier base de datos, una de las principales funcionalidades de los SIG es la capacidad de consulta. En un SIG hay dos formas básicas de realizar una consulta: en relación a la posición espacial o en relación a un atributo concreto. La consulta en relación a la posición espacial se formularía como: ¿Qué hay en esta localización? Esto suele realizarse haciendo clic en un punto o elemento y listando sus atributos. Otras consultas espaciales más complejas implican la selección de todos los elementos en un área definida o en un polígono, o en las cercanías, como: ¿Qué hay cerca de este elemento? Las respuestas a esta consulta más compleja requieren el uso de otras funcionalidades como buffering o superposición (ver más adelante).

Superposición de datos (Overlaying): Una característica esencial de los SIG es la capacidad de superposición de múltiples capas de información, de modo que se pueda acceder a estas capas simultáneamente. Es decir, además de poder comparar capas de forma visual, éstas pueden combinarse físicamente para generar nuevas capas mediante intersecciones geométricas. Pueden superponerse los tres tipos de capas vectoriales con las capas ráster. En la superposición no solamente se combinan los datos espaciales sino también los atributos. La Figura 4.3 muestra un ejemplo de la función de superposición de capas de información en QGis, en la que se representan superpuestas una capa ráster con la ortofoto de la zona de estudio, una capa vectorial de tipo polígono (en verde) llamada Parcela, que delimita la parcela de estudio, y una capa vectorial tipo puntos, que indica los puntos de medición experimentales.

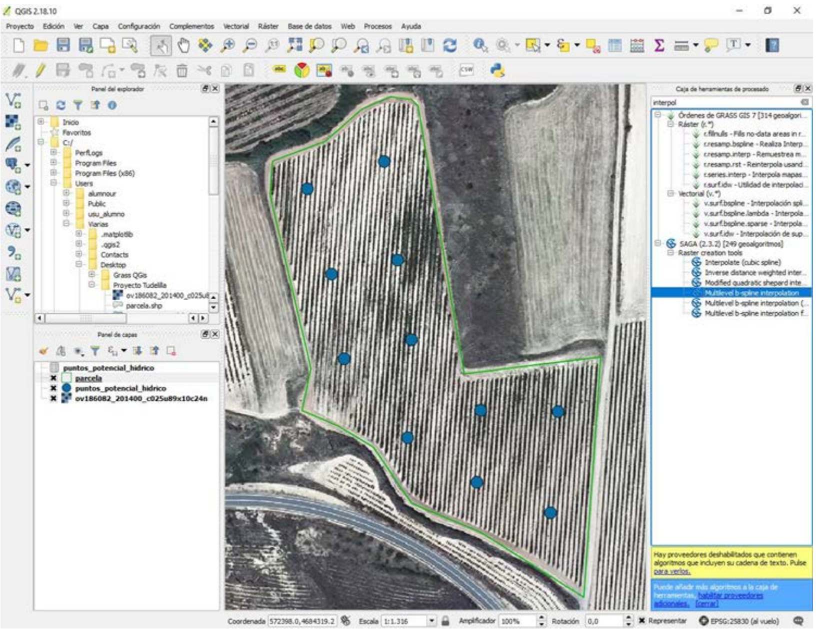


Figura 4.3. Ejemplo de superposición de tres capas: a) ortofoto de la zona a estudio (ráster), b) polígono de la parcela (vectorial tipo polígono) y c) puntos experimentales (vectorial tipo punto).

La superposición de capas de datos facilita el análisis espacial al generar combinaciones de información y permitiendo la consulta simultánea las múltiples capas superpuestas.

Con frecuencia, la superposición se utiliza en conjunto con otros tipos de funciones. La superposición es frecuentemente un paso en un proceso o modelo de análisis y puede ocurrir en varios puntos del proceso. De forma general, hay dos métodos para realizar una superposición: superposición de entidades (puntos, líneas o polígonos que se superponen, Figura 4.4a) y superposición de rásteres (Figura 4.4b) (ESRI tutorial on line).

- Superposición de entidades: Los elementos clave en la superposición de entidades son la capa de entrada, la capa de superposición y la capa de salida (ESRI tutorial on line). "Si la capa de entrada contiene líneas, las líneas se dividen donde las cruzan los polígonos. Estas nuevas entidades se almacenan en la capa de salida, la capa de entrada original no se modifica. Los atributos de las entidades de la capa de superposición se asignan a las nuevas entidades correspondientes en la capa de salida, junto con los atributos originales de la capa de entrada (ESRI tutorial on line)"

- Superposición de rásteres: Cada celda de cada capa ráster hace referencia a la misma ubicación geográfica. Esto permite combinar las características o atributos de varias capas en una sola.

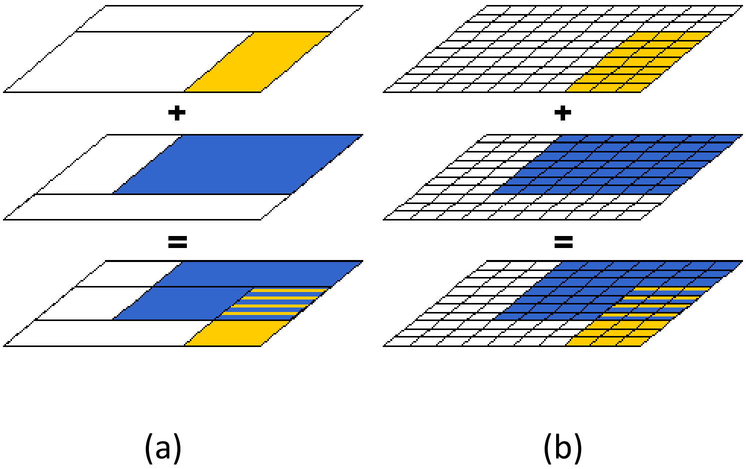


Figura 4.4. Ejemplos de superposición de (a) entidades, en este caso polígonos, y de (b) ráster. Adaptado de https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c9_p6.html.

Creación de zonas de influencia (buffering). Un buffer espacial identifica un área alrededor de un elemento geográfico o posición concretos. Los buffers están especialmente indicados para identificar factores de relación vecinal o vecindad de cara a la toma de decisiones. Por ejemplo, si uno desea conocer todas las zonas a 2 km de un hospital o los colegios que existen en un área a 5 km de un domicilio concreto. La función buffering toma una capa vectorial de punto, línea o polígono como capa de entrada y produce una capa polígono como capa de salida (Figura 4.5).

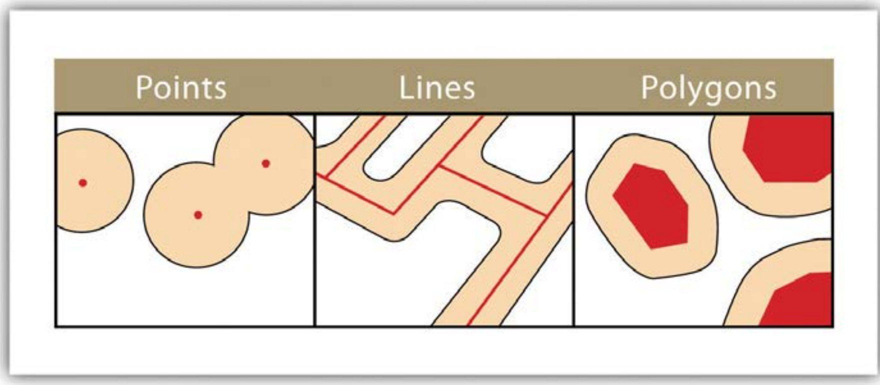


Figura 4.5. Ejemplos de buffering en punto, línea y polígono. (Saylor Academy 2012) https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s11-01-single-layer-analysis.html#campbell_1.0-ch07_s01_s01_f01

Reclasificación. Los sistemas SIG permiten reclasificar datos de forma automática. Reclasificar esencialmente cambia los valores de un ráster. La reclasificación puede consistir en una mera recategorización de la distribución de un atributo, o también basarse en la información obtenida mediante herramientas de proximidad o adyacencia. Así, una reclasificación puede ser útil cuando se desea cambiar los valores de una o varias celdas de un ráster basándose en información nueva, porque se desee simplificar el ráster y realizar agrupaciones o utilizar una escala común, entre otras posibilidades.

4.3. Ejemplos de uso

Las siguientes fichas contienen ejercicios en los que se describe el procedimiento para la aplicación de algunas de las funcionalidades presentadas en este capítulo.

Ficha 4.1. Localización de un elemento vectorial y sus atributos. Tipo de función: georreferenciación/consulta de datos/medición distancia (grupo 1)

Ficha 4.2. Localización de un elemento ráster y sus atributos. Tipo de función: georreferenciación/consulta de datos (grupo 1)

Ficha 4.1. Localización de un elemento vectorial y sus atributos

Tipo de función: georreferenciación/consulta de datos/medición distancia (grupo 1)

Título: uso del sistema de información geográfica de parcelas agrícolas (SIGPAC) para determinar la localización y características de la parcela donde se va a realizar el estudio edafológico del suelo

Objetivo: en esta práctica se ofrece información sobre el Sistema de Información Geográfica de parcelas agrícolas (SIGPAC), que permite identificar geográficamente las parcelas declaradas por los agricultores y ganaderos, en cualquier régimen de ayudas relacionado con la superficie cultivada o aprovechada por el ganado.

Procedimiento

El SIGPAC es un geolocalizador o tipo de SIG de acceso abierto, inicialmente pensado para facilitar a los agricultores la presentación de solicitudes, con soporte gráfico, así como para facilitar los controles administrativos y sobre el terreno. El SIGPAC se ha convertido en una herramienta de gran utilidad en campos diferentes del sector agrario, como son en la Edafología, la Geología, etc., lo que obedece a su concepción y desarrollo, en el que se hace uso continuo y permanente de las tecnologías más avanzadas en información geográfica automatizada.

A continuación, se describen los pasos a seguir:

1. Entrar la página web: http://www.larioja.org/agricultura/es/sigpac y acceder al visor de SIGPAC.



2. En la parte superior derecha de la pantalla, en el desplegable de la pestaña de “ver” se entra en “buscar” y aparece en la parte inferior derecha unas opciones de búsqueda, siendo recomendable la búsqueda progresiva. Se introducen los datos del municipio, polígono y parcela.

3. En el desplegable pequeño y de color blanco que está situado en la parte superior derecha de la pantalla seleccionamos la "Capa vectorial" de las parcelas y en "Imágenes" las correspondiente a las ortofotos de 2017 y así se podrá ver los límites de las parcelas en la escala que está determinada (1:25000). Con ayuda del cursor se puede ver a distintos tamaños la parcela estudiada en la zona en el año seleccionado.



4. En la parte superior izquierda de la pantalla, en el desplegable de la pestaña de "medir" con ayudar del ratón y del cursor es posible medir la longitud y la superficie de la parcela objeto de estudio.

5. En la parte superior derecha, en la pestaña "consultas", se selecciona la pestaña "parcela" y en la ortofoto la parcela a estudio o de interés. Automáticamente se obtiene la información sobre la parcela de interés: Fecha de vuelo en la se estudió, fecha cartográfica catastral, referencia catastral, así como los datos de localización de la parcela (provincia, término municipal, polígono y parcela y superficie) así como datos de uso y coeficiente de regadío.

   Al darle al símbolo de impresión se genera un documento, el cual se puede guardar como información del trabajo realizado.

Gobierno de La Rioja — SIGPAC

La información de esta parcela es la vigente en SigPac a fecha 05/01/2017.

Fecha de vuelo: 07/2014 — Fecha de la cartografía catastral (1): 10/04/2016

Provincia	Municipio	Agregado	Zona	Polígono	Parcela	Superficie (ha)	Referencia Catastral
26 - LA RIOJA	169 - VILLAMEDIANA DE IREGUA	0	0	4	156	0,8005	

Recinto	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Uso	Admisibilidad en pastos %	Admisibilidad en pastos ha	Coef. Regadío	Incidencias	Región
1	0,6707	16,5	VI			0		0102 (2)
2	0,1297	26,8	PR	0	0	0	75,126	0303 (2)

Uso	Superficie (ha) Total	Superficie (ha) Admisible en pastos
PR	0,1297	0
VI	0,6707	

OPCIONES DE IMPRESIÓN	IMPRIMIR
☑ Etiquetas	
☑ Recintos	
☑ Árboles	
☑ Elementos del Paisaje	

Ficha 4.2. Localización de un elemento ráster y sus atributos
Tipo de función: georreferenciación/consulta de datos
(grupo 1)

Título: Uso de la infraestructura de datos espaciales del Gobierno de La Rioja (Ide/Rioja) para la obtención de la información de la zona donde se encuentra un perfil del suelo que se desea estudiar.

Objetivo: En esta práctica se persigue obtener información relacionada con la topografía del terreno, la altimetría, la geología, así como las dos principales variables climáticas (temperatura media mensual y precipitación anual) de la zona en la que se encuentra el perfil de suelo estudiado, con el objeto de caracterizarlo y estudiar los factores formadores de este suelo.

Procedimiento

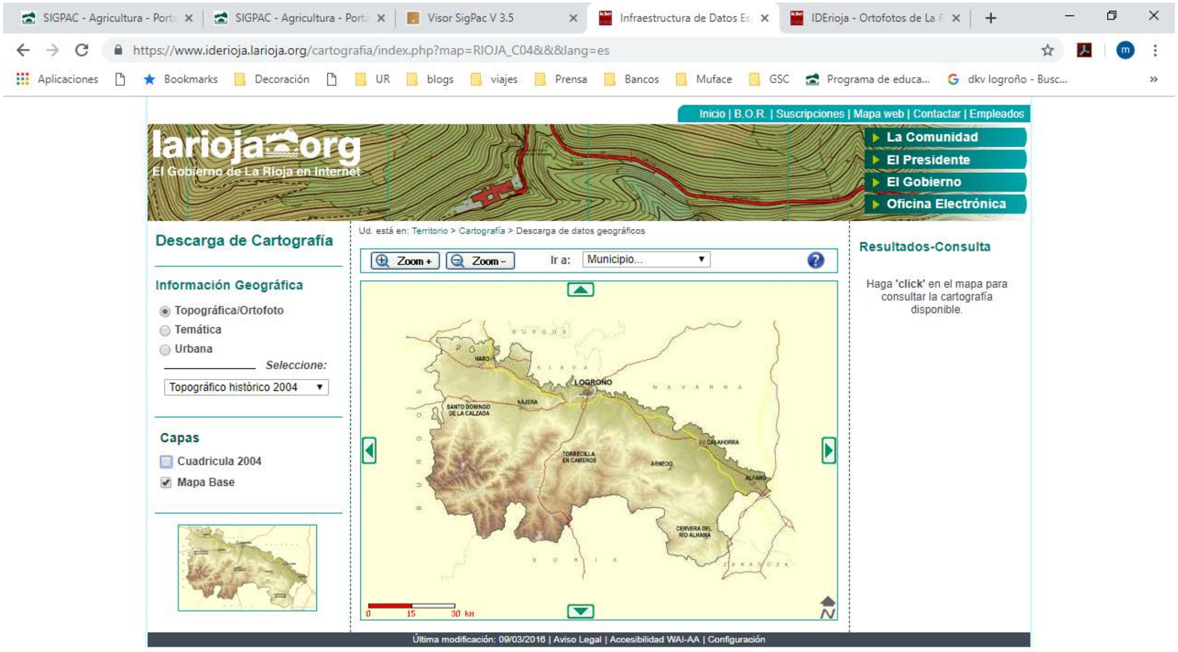
Desde el año 1990, el Gobierno de La Rioja viene utilizando la tecnología SIG para la gestión de su territorio, aplicando nuevas técnicas como el uso del GPS en la recolección de los datos geográficos. La información geográfica disponible en la Comunidad Autónoma de La Rioja es la siguiente:

1. Cartografía topográfica básica (formato gráfico y vectorial)
2. Ortofoto aérea
3. Cartografía temática

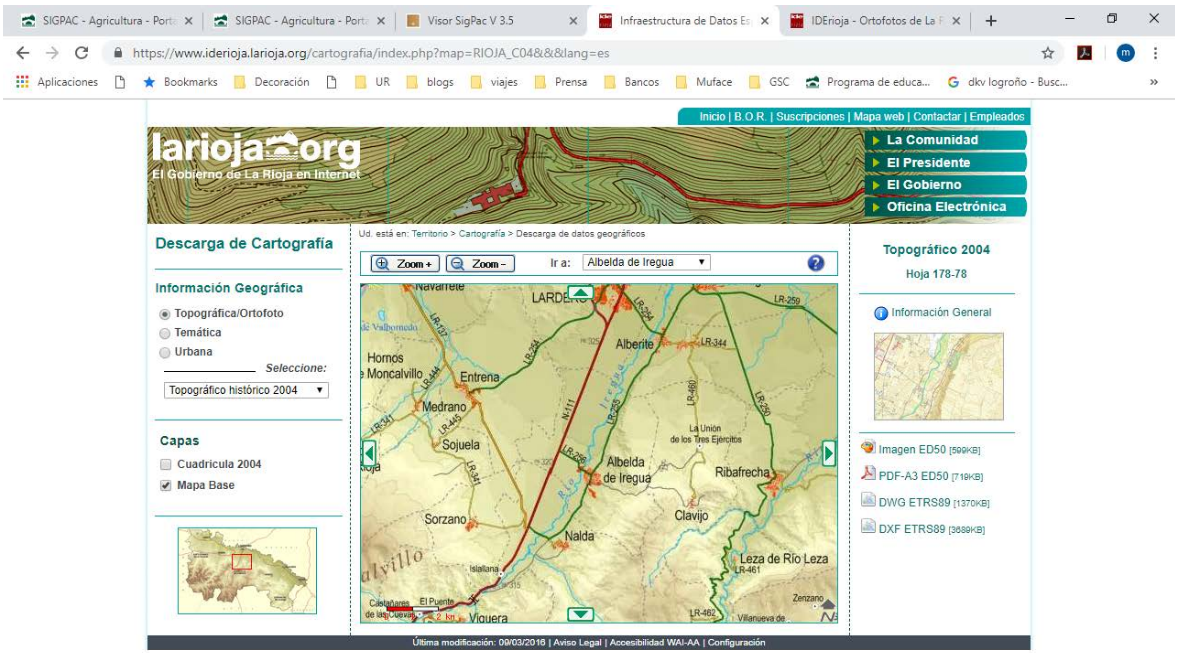
1. Acceder a la página https://www.iderioja.larioja.org/



2. Acceder a "Descarga de datos geográficos y mapas" y seleccionar la información geográfica que se desea obtener. En este caso es la información geográfica "Topográfica/Ortofoto". Seleccionar dentro de las capas el último topográfico histórico y el mapa base.

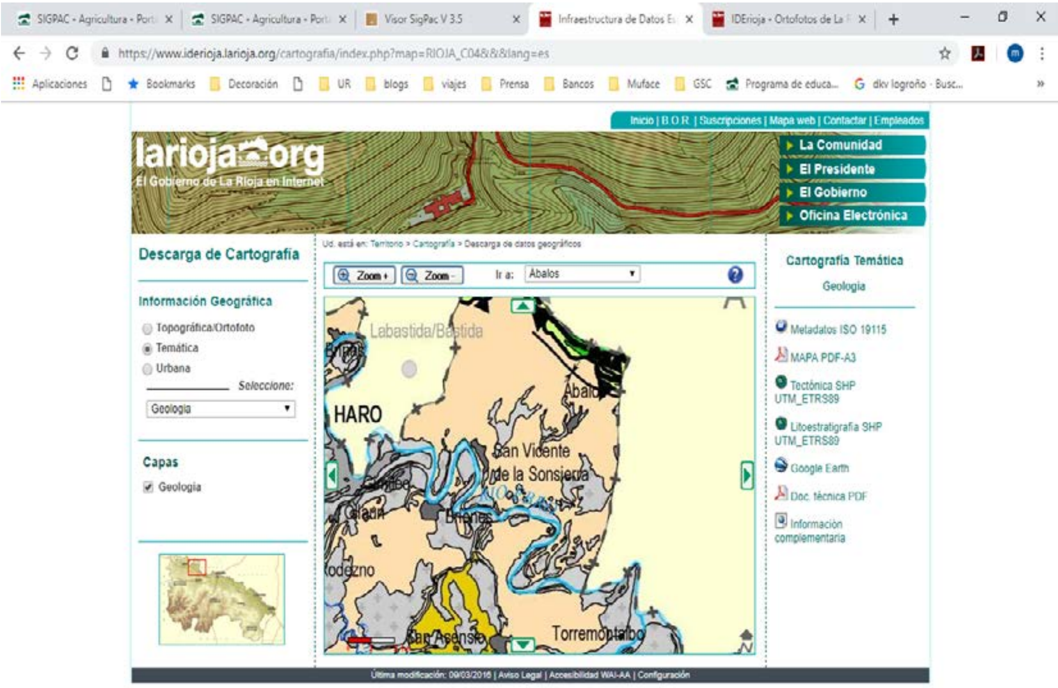


En la parte superior se selecciona el término municipal en el que se encuentra el perfil de suelo a estudio y aparecerá el año del mapa topográfico, la hoja en la que se encuentra y la información general que está relacionada (escala del mapa, proyección, número de hojas, así como las descargas que se pueden hacer). En formato pdf se puede descargar el mapa topográfico regional del Gobierno de La Rioja. Este mapa se imprime en A3 y se adjunta en informe de la práctica.

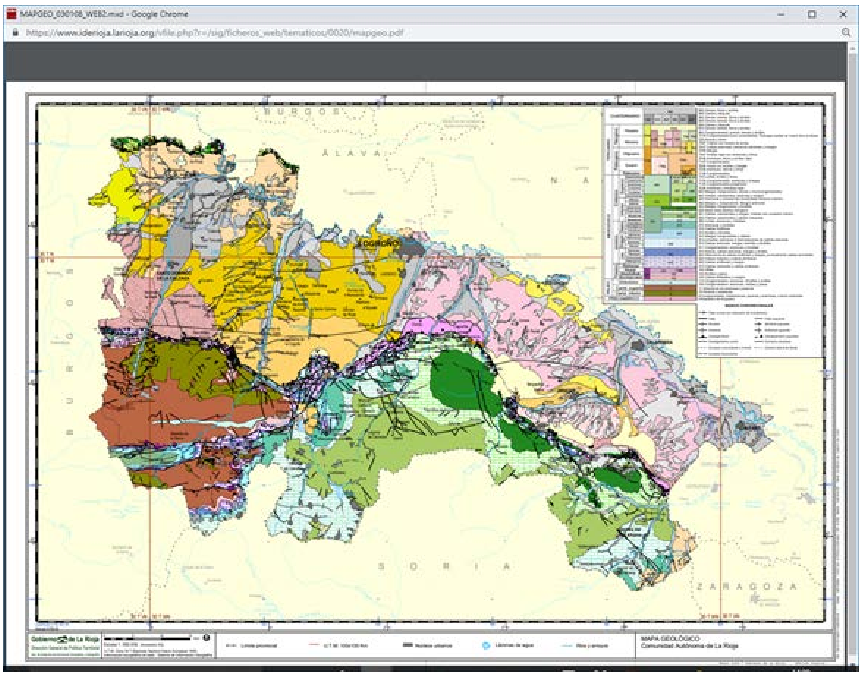


3. Acceder de nuevo en "Descarga de datos geográficos y mapas" y seleccionar la información geográfica temática dentro de la lista de temáticos que se desea obtener, que, en este caso práctico, es el medio físico y la geología.

   En la parte superior se selecciona el término municipal en el que se encuentre el suelo a estudio y aparece el mapa.



Haciendo clic sobre el mapa aparece en la parte derecha la información técnica, la litoestatigrafía así como el mapa geológico nacional en escala 1:350.000. En la derecha de la imagen es posible descargar el mapa geológico de La Rioja a gran resolución y así poder definir de qué periodo es la zona a estudio. Se incluirá una leyenda con cada periodo y los distintos colores de cada tipo de terreno. Este mapa se imprime en A3 y se adjunta en informe de la práctica.



4. De la misma manera se procederá para obtener la información altimétrica, hidrológica, de precipitaciones anuales y temperaturas medias mensuales de la zona de estudio.

5. Acceder de nuevo en la página https://www.iderioja.larioja.org/ y seleccionamos_"Bases de datos geográficas" y dentro de esta sección "Medio físico". Hacer clic en "Hidrografía" y seleccionar "acuíferos (masas de aguas subterráneas) para elegir el que se encuentra en el subsuelo de la zona en la que se tiene el perfil del suelo. Es posible descargar el mapa correspondiente. Esta información se relacionará con las posibilidades de riego de la zona.

6. De igual manera, y dentro de la misma web y bases de datos se puede conocer si la zona de estudio del suelo está localizada sobre una zona vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrícola. Para ello, acceder en "Calidad ambiental" y seleccionar "contaminación y residuos", y en ellos "zonas vulnerables a la contaminación por nitratos". Dentro de esta sección es posible seleccionar si el suelo a estudio está sobre uno de los tres aluviales vulnerables en la Comunidad de la Rioja y con el visor acceder al mapa correspondiente y descargarlo para adjuntarlo al trabajo.

5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. FUNCIONES AVANZADAS

Noemí Solange Lana-Renault Monreal y Mª Paz Diago Santamaría

El material que se presenta a continuación va dirigido a los usuarios pertenecientes al grupo definido como 2B, cuyo objetivo es la generación de mapas de producción propia a partir de datos provenientes de distintas fuentes de datos geográficos y del propio trabajo. Para ello el usuario debe saber manejar una serie de funcionalidades avanzadas de los SIG. Aquí destacamos las más utilizadas. Para cada funcionalidad, se explica brevemente a qué tipo de análisis espacial se corresponde y en qué consiste dicho análisis espacial. La mayor parte de las funcionalidades avanzadas se aplican a capas ráster, que tienen mucho más potencial analítico, ya que su estructura matricial permite cálculos más rápidos. Para una explicación más detallada de cada funcionalidad, el usuario puede consultar los manuales de Burrough y McDonnell (1998), Sastre (2010), Olaya (2012) y Escolano (2015), en los cuales se han basado los contenidos aquí presentados.

Las funcionalidades avanzadas más comunes se exponen en los apartados siguientes

5.1. Edición y creación de capas vectoriales

Incluye principalmente operaciones de solape que permiten generar nuevas capas vectoriales a partir del cruce de dos de ellas. Las capas de origen pueden ser de naturaleza diferente (punto, línea, polígono) aunque principalmente suelen ser polígonos. En las figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 se muestran algunos ejemplos:

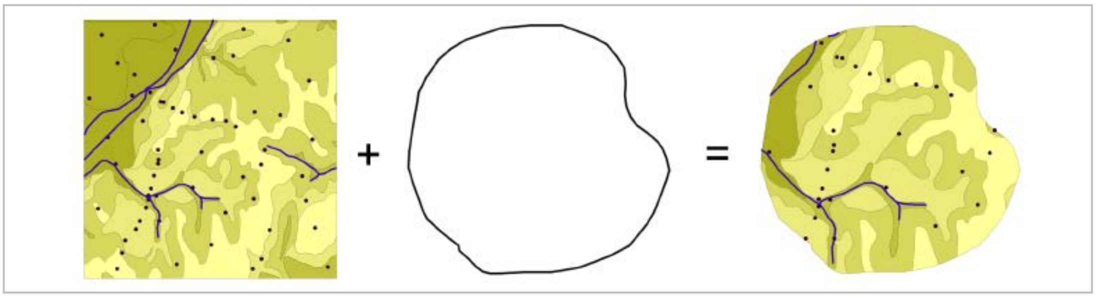


Figura 5.1. Ejemplo de RECORTE con una capa de polígonos.

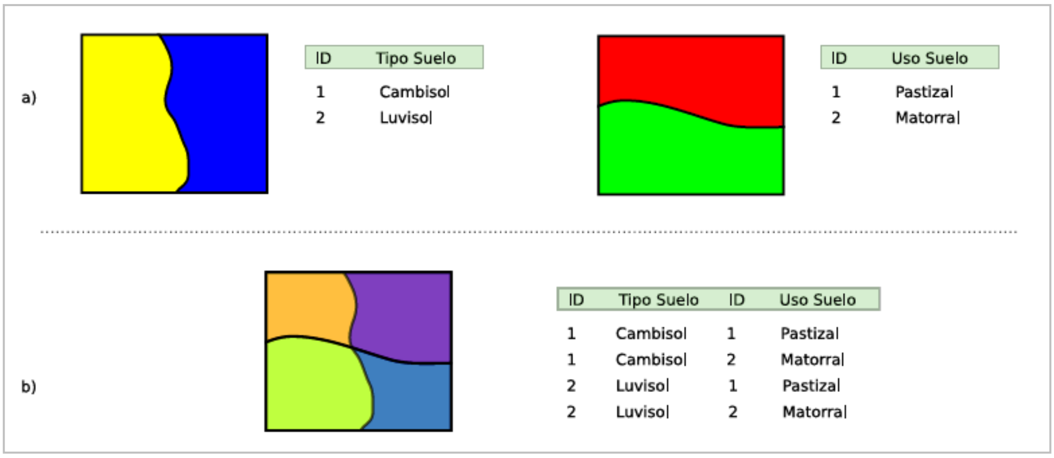


Figura 5.2*.* Ejemplo de INTERSECCIÓN entre dos capas de polígonos mostrando la tabla de atributos resultante.

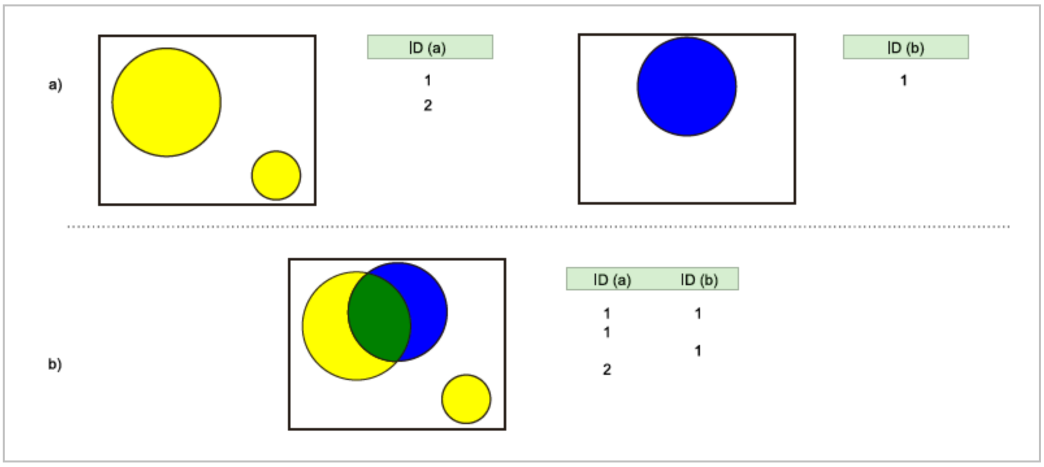


Figura 5.3. Ejemplo de UNIÓN de dos capas de polígonos mostrando la tabla de atributos resultante.

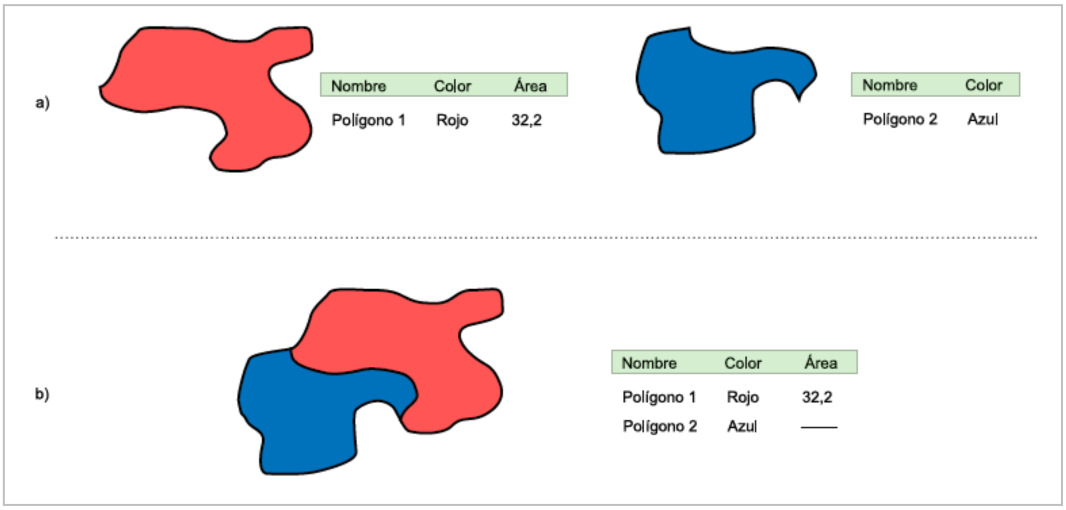


Figura 5.4. Ejemplo de COMBINACIÓN de dos capas de polígonos mostrando la tabla de atributos resultante (ninguna de las geometrías de las capas de entrada se ve alterada).

Dentro de la edición de capas vectoriales se podrían incluir otro tipo de operaciones que no implican el solape de dos capas vectoriales, como por ejemplo la disolución de polígonos o la selección de polígonos para crear una capa nueva (Figura 5.5).

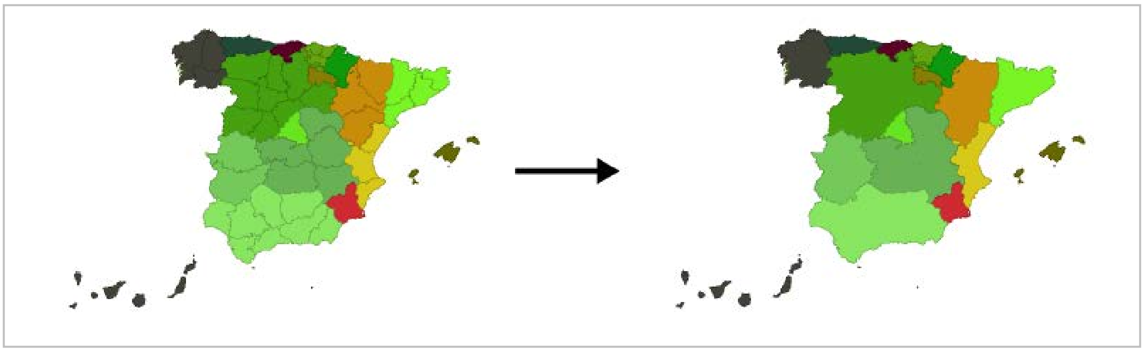


Figura 5.5. Ejemplo de DISOLUCIÓN de polígonos a partir de un atributo común (en este caso, el código regional).

Por último, los SIG permiten la creación de capas vectoriales a partir de bases de datos georreferenciadas.

5.2. Reclasificación

Las funciones de reclasificación o recodificación pueden aplicarse tanto a capas ráster como a capas vectoriales. Se crea una nueva capa en función de un esquema de recodificación establecido, por ejemplo: reclasificación del tipo de uso del suelo en dos categorías, apto o no apto (Figura 5.6).

3	3	2	2	2	1
3	2	2	2	1	1
3	3	2	1	1	1
3	3	2	2	2	2
3	3	3	2	2	2
3	2	2	2	2	2

32	32	16	16	16	8
32	16	16	16	8	8
32	32	16	8	8	8
32	32	16	16	16	16
32	32	32	16	16	16
32	16	16	16	16	16

Variable	Valor original	Valor reclasificado
Suelo A	1	8
Suelo B	2	16
Suelo C	3	32

Figura 5.6. Ejemplo de Reclasificación de una capa según el esquema mostrado en la tabla.

5.3. Transformación de formato vectorial a ráster y de ráster a vectorial

En las transformaciones de formato vectorial a ráster, cada píxel de la nueva capa recibe el valor del atributo de la entidad vectorial que lo cubre. Los píxeles en los bordes son asignados a la entidad que cubre más del 50% del píxel (Figura 5.7).

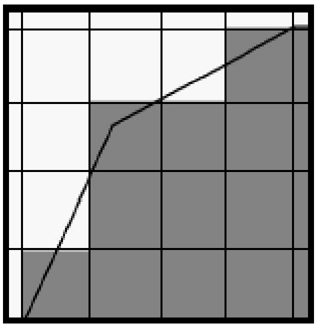


Figura 5.7. Ejemplo de rasterización de un polígono.

La transformación opuesta, de ráster a vectorial, produce límites escalonados. Para eliminar este efecto no deseado, se generalizan las líneas de la capa vectorial resultante. Uno de los métodos es la aplicación de un filtro de "paso bajo" mediante el cual cada vértice de la salida es interpolado por las medias móviles de 3 o más vértices (Figura 5.8).



Figura 5.8. Ejemplo de vectorización con límites escalonados (izquierda) y con límites suavizados mediante un filtro (derecha).

5.4. Análisis de proximidad o vecindad: costes, distancias y áreas de influencia

Desplazarse entre dos puntos del espacio implica un coste. Por ejemplo, cuanto más alejados (más distantes) se encuentren estos dos puntos, más tiempo llevará efectuar el desplazamiento. La distancia es un ejemplo de variable coste. Existe infinidad de variables coste: la pendiente del terreno, por ejemplo, es una variable de coste válida, ya que la dificultad de desplazarse sobre el terreno aumenta conforme lo hace la pendiente. Una capa que contiene la variable coste se conoce como superficie de fricción. El análisis de superficies de fricción puede derivar en análisis de vecindad más complejos tales como coste acumulado, cálculo de rutas óptimas o área de influencia. Las áreas de influencia son aquellas que, a partir de una entidad espacial y de acuerdo

con una variable o conjunto de variables (por ej., variables de coste como la distancia), definen una nueva entidad. Las nuevas entidades suelen ser corredores, círculos o coronas (buffers) en función de la entidad de origen (Figura 5.9).

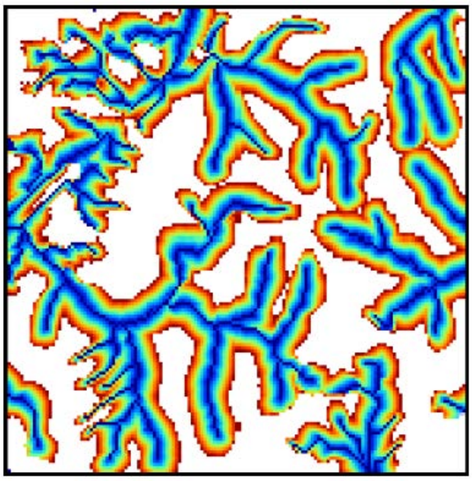


Figura 5.9. Área de influencia a un cauce basada en la distancia hidrológica (que tiene en cuenta la topografía y dirección de flujos).

Los análisis de vecindad suelen ser habituales en los sistemas ráster ya que su estructura matricial permite mejor la aplicación de algoritmos para conocer cómo se relaciona un objeto geográfico con su entorno.

5.5. Álgebra o calculadora de mapas

Se puede considerar una de funcionalidades "estrella" del análisis espacial –y por lo tanto de los SIG. Consiste en realizar un **solapamiento** o una **superposición** de capas de información (mapas) con el fin de obtener una nueva capa (mapa) con datos derivados del cálculo de las anteriores. Dicho de otro modo, el álgebra de mapas estaría formado por un conjunto de variables (mapas), expresiones y funciones los cuales, a través de una sintaxis adecuada, permiten la obtención de un nuevo mapa. Suele aplicarse a capas ráster pues éstas presentan una estructura matricial mucho más adecuada para llevar a cabo los cálculos correspondientes. El siguiente ejemplo ilustra muy bien en qué consiste el álgebra de mapas.

Consideremos la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE):

$$A = R * K * LS * C * P \qquad \text{(Eq. 5.1)}$$

donde A representa la pérdida total de suelo (Mg/ha/año), que depende de los siguientes factores: R la erosividad de la lluvia, K el tipo de suelo, LS es el factor topográfico, C el uso del suelo y P la práctica agrícola. Para una zona de estudio determinada, cada uno de estos factores puede representarse mediante un mapa (capa ráster) (Figura 5.10). Si extendemos el cálculo puntual de la variable A a todos los puntos de la zona de estudio, obtendremos una nueva capa de pérdida total de suelo, evaluando la Eq 5.1 para cada una de las celdas de la zona de estudio.

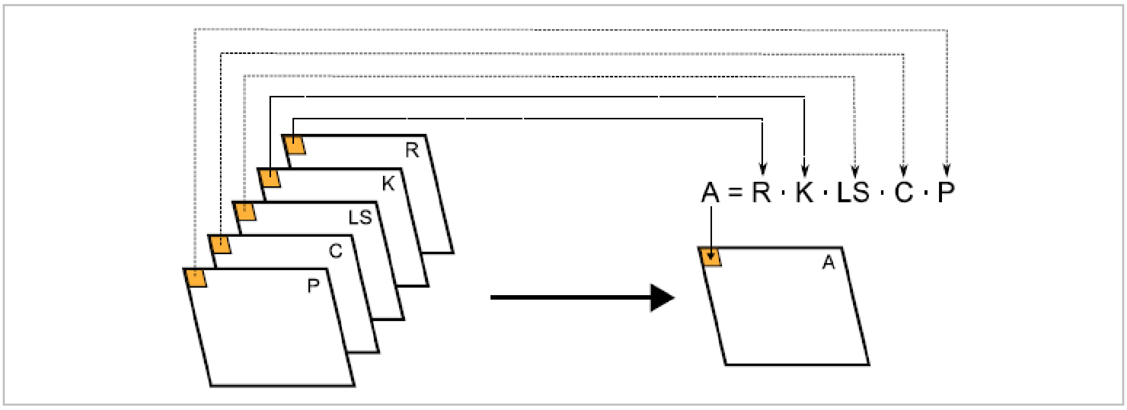


Figura 5.10. Ejemplo de aplicación de álgebra o calculadora de mapas.

5.6. Interpolación espacial

El proceso de interpolación se refiere a la estimación de un valor desconocido de una variable en una coordenada a partir de los valores conocidos en otras coordenadas (Figura 5.11). Ejemplos habituales son la interpolación de datos de elevación tomados en el campo con un GPS; o la interpolación de datos de temperatura registrados en los observatorios de una red. En ambos casos no se puede obtener la información para todos los puntos del espacio, pero tomando un número de muestras se puede crear una capa de información de la variable para toda la superficie de estudio a partir del proceso de interpolación de los datos conocidos.

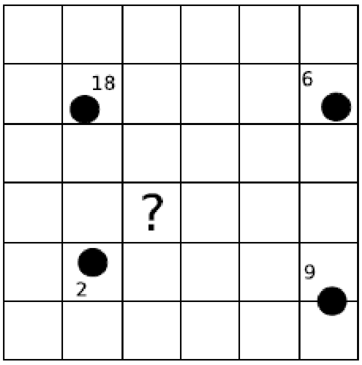


Figura 5.11. Ejemplo que ilustra el proceso de interpolación: se conocen los valores de una variable en los cuatro puntos marcados y se quiere estimar el valor de esa variable en el resto de las celdas de la malla.

El número de técnicas de interpolación es muy amplio. Suelen clasificarse según el número de puntos considerado para la estimación de los valores (*globales* cuando todos los puntos de los que se tiene información influyen en la interpolación vs. *locales*, cuando sólo se considera un conjunto restringido) y según la inclusión o no de elementos probabilísticos (técnicas *estocásticas* vs *determinísticas*). Las técnicas de interpolación más utilizadas son:

– IDW (Inverse Distance Weight): método de interpolación de tipo local y determinístico, basado en una ponderación por la distancia. El método IDW está basado principalmente

en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática. El parámetro potencia es un número real positivo y su valor predeterminado es 2. Al definir un valor de potencia más alto, se pone más énfasis en los puntos más cercanos.

– Superficie de tendencias: método de interpolación global y determinístico (o estocástico según el tipo de función a ajustar). La interpolación se lleva a cabo mediante el ajuste por mínimos cuadrados de una función polinómica que incluye la distancia, si bien permite incorporar variables adicionales (por ej., para la interpolación de la temperatura es frecuente añadir la altitud). Pueden emplearse polinomios de diferente grado para aumentar la precisión del ajuste.

– Spline: método de interpolación local y determinístico. Los splines son funciones polinómicas por tramos, de modo que, en lugar de emplear un único polinomio para ajustar a todo un intervalo de valores, se emplea uno distinto para cada tramo. El objetivo es obtener una superficie interpolada suave que pase exactamente por los puntos de entrada (como si se tratase de una superficie elástica fijada a los puntos conocidos). Esto se consigue mediante funciones matemáticas que minimizan la curvatura general de dicha superficie. Los principales parámetros que afectan a la superficie de generada son: el peso y el número de puntos. Respecto al peso, cuanto mayor sea el valor de este parámetro más suave es la superficie o mapa generado. Se suelen utilizar valores entre 0 y 0,5. El número de puntos se corresponde con el número de puntos utilizados en el cálculo de cada celda interpolada. Cuantos más puntos de entrada se especifique, mayor será la influencia de los puntos distantes sobre cada celda y más suave será la superficie de salida

– Kriging: método de interpolación estocástico y aplicable tanto de forma global como local. Parte del mismo supuesto básico que las interpolaciones basadas en una ponderación por la distancia, pero, en este caso, para el cálculo de la ponderación se tiene en cuenta la autocorrelación espacial entre los puntos conocidos, es decir, la relación que se observa entre la distancia que separa los puntos muestrales y la variación de la variable a interpolar (ver apartado 6.7). Además de la superficie interpolada, el kriging genera superficies con medidas del error de interpolación.

5.7. Geomorfometría

Puesto que las actividades humanas se asientan en su práctica totalidad sobre la superficie terrestre, la parametrización de las características de dicha superficie (geomorfometría) es fundamental en cualquier tipo de análisis espacial. La fuente principal de información en geomorfometría es el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que se define como una representación de la variación continua del relieve en el espacio. Generalmente es una capa raster que se obtiene mediante la interpolación de la información contenida en las curvas de nivel. El análisis morfométrico del MDE permite obtener numerosas variables topográficas tales como (Figuras 5.12 y 5.13) la orientación de las laderas, la pendiente, la curvatura del terreno, índices de convergencia y otros índices topográficos; modelos de sombras, direcciones de flujo, redes de drenaje, delimitación de cuencas y área acumulada, o cuencas visuales. La mayoría de los SIG llevan incorporados los algoritmos necesarios para obtener directamente estas variables.

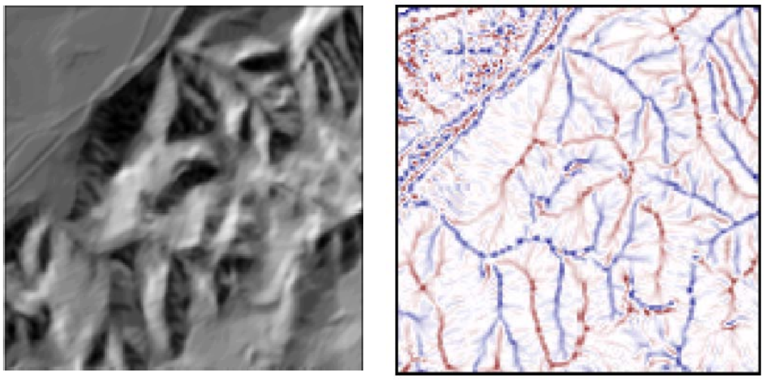


Figura 5.12. Modelo de sombras (izquierda) e índice de convergencia (derecha).

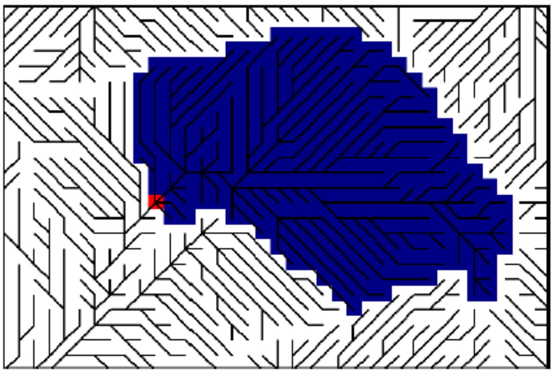


Figura 5.13. Líneas de dirección de flujo y delimitación de la cuenca hidrográfica aguas arriba del punto rojo.

5.8. Geoestadística

Los datos espaciales pueden ser analizados estadísticamente como cualquier otro tipo de datos. La geoestadística (o estadística de datos espaciales) incluye análisis muy diversos; el más habitual es, sin duda, el análisis de autocorrelación espacial, que se basa en la idea de que puntos más cercanos tienden a tener valores más similares entre sí que puntos más alejados. El grado de autocorrelación espacial puede evaluarse mediante índices (por ej., el índice I de Moran) o mediante variogramas. Éstos proveen una descripción de cómo el valor de una variable cambia entre dos puntos de muestreo en función de la distancia entre esos puntos. En un variograma, el eje vertical representa la varianza (es decir, el grado de cambio de una variable) y el eje horizontal la distancia.

El variograma se estima mediante datos muestrales y se debe ajustar al modelo matemático más apropiado (Figura 5.14).

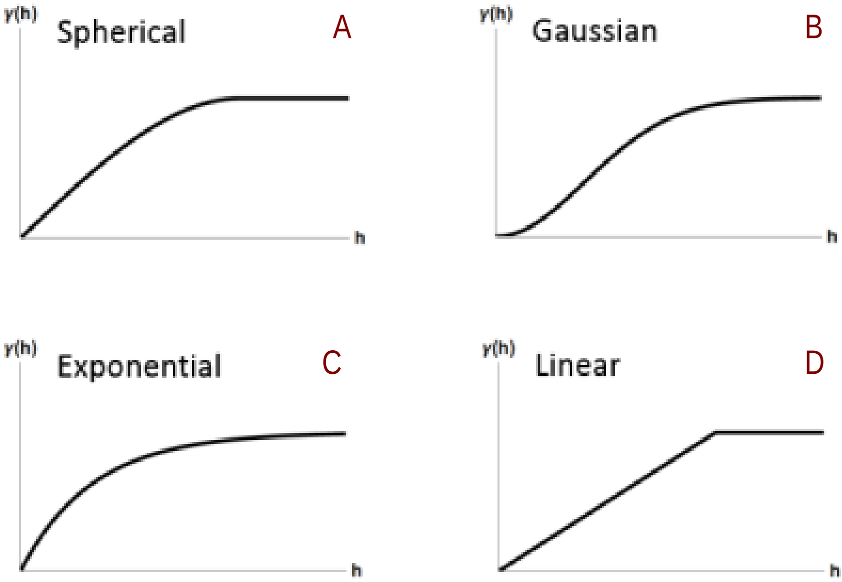


Figura 5.14. Ejemplos de modelos de ajuste de semivariogramas.

Los principales parámetros de un variograma (Figura 5.15) son:

- Rango: indica la distancia a la que la variable alcanza la máxima variabilidad y a partir de la cual no hay dependencia espacial entre los puntos.
- Sill o meseta: se define como el valor de la varianza en el cual se alcanza el rango.
- Nugget: hace referencia a la varianza observada en distancias inferiores al intervalo espacial de muestreo y a la varianza de los errores de medida. Representa una variabilidad que no puede explicarse mediante la estructura espacial de los puntos de muestreo.

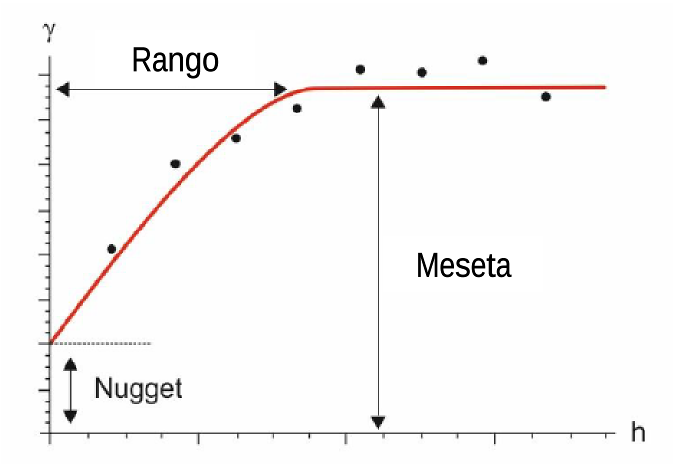


Figura 5.15. Parámetros de un variograma. γ representa la varianza de la variable y h la distancia entre los puntos de muestreo.

5.9. Ejemplos de uso

Las siguientes fichas contienen ejercicios en los que se describe el procedimiento para la aplicación de algunas de las funcionalidades presentadas en este capítulo.

Ficha 5.1. Situación de datos experimentales de un viñedo. Tipo de función: Creación de capa ráster/creación de capa vectorial puntos/superposición de capas

Ficha 5.2. Mapa de pendientes y zonas aptas para la urbanización. Tipos de función: Geomorfometría y reclasificación.

Ficha 5.3. Áreas de influencia a cauces. Tipos de función: Rasterización y Análisis de proximidad

Ficha 5.4. Modelo de Decisión. Tipo de función: Álgebra de mapas

Ficha 5.5. Generación de un mapa por interpolación. Tipo de función: Recorte/Interpolación

Ficha 5.1. Situación de datos experimentales de un viñedo

Tipo de función: creación de capa ráster/creación de capa vectorial puntos/superposicion de capas

(grupo 1/2a)

Título: Localización en QGIS de las medidas de potencial hídrico en un viñedo.

Objetivo**:** El objetivo de esta práctica es geolocalizar en QGIS las medidas de potencial hídrico de tallo, determinadas en diversos puntos de una parcela de viñedo en una fecha concreta.

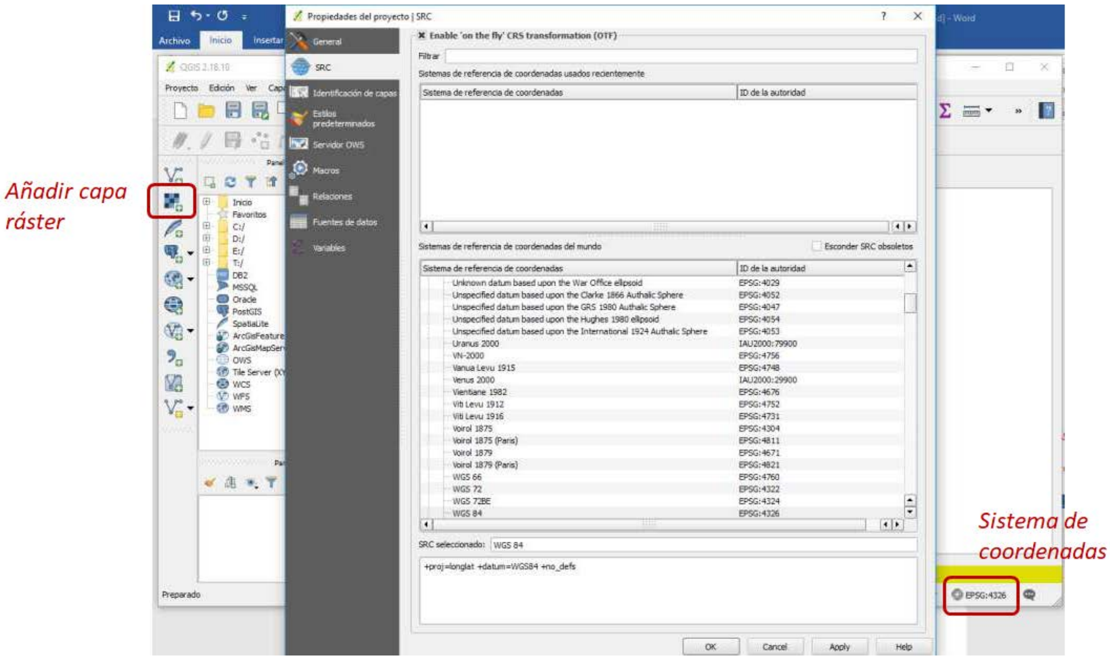
Procedimiento

1. En primer lugar, acceder a la página web de La Rioja (www.iderioja.larioja.org) y hacer clic en "Descarga de datos e Información Geográfica". Seleccionar la opción Ortofoto 2014 del menú desplegable y el municipio Tudelilla. De los distintos cuadrantes en que se divide la ortofoto, seleccionar el más centrado al núcleo urbano (186). En la parte inferior derecha aparece toda la información (ficheros) geográfica disponible para el cuadrante elegido. Descargar el fichero ECW.

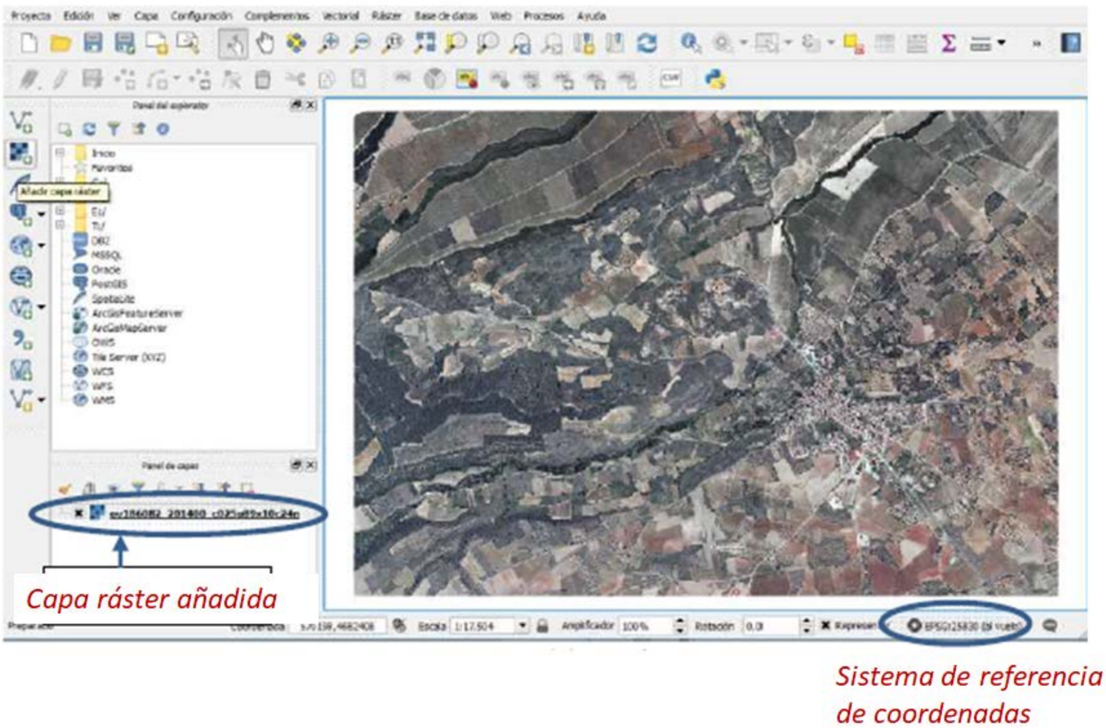


2. A continuación, entrar en QGIs y hacer clic en el icono de "Añadir capa ráster". Posteriormente, hacer clic en la parte inferior derecha de la pantalla de QGis, donde aparece el Sistema de Coordenadas, para cambiarlo a ETRS89, que es el sistema de coordenadas del fichero ECW descargado en el paso anterior.

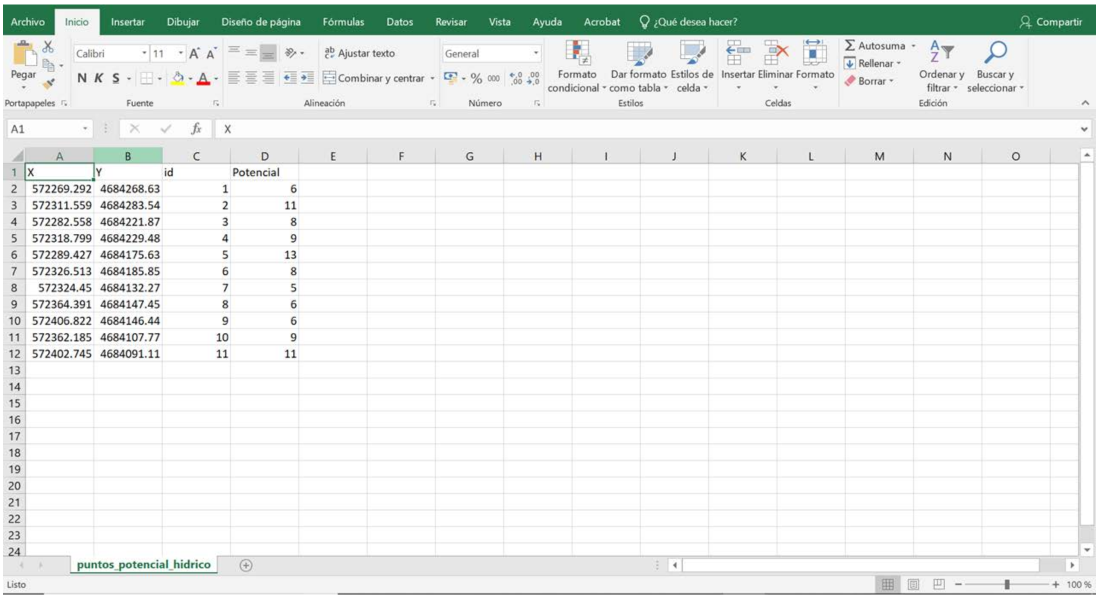
En el desplegable de sistema de referencia de coordenadas, seleccionar 'ETRS89/UTM zone 30N', que debe aparecer, una vez cambiado, en la parte inferior derecha de la pantalla.



3. En la pantalla de QGIs ya se ha cargado la capa ráster con la ortofoto de la zona de interés en Tudelilla y en el Panel de capas (a la izquierda) aparece el nombre de la capa ráster añadida.

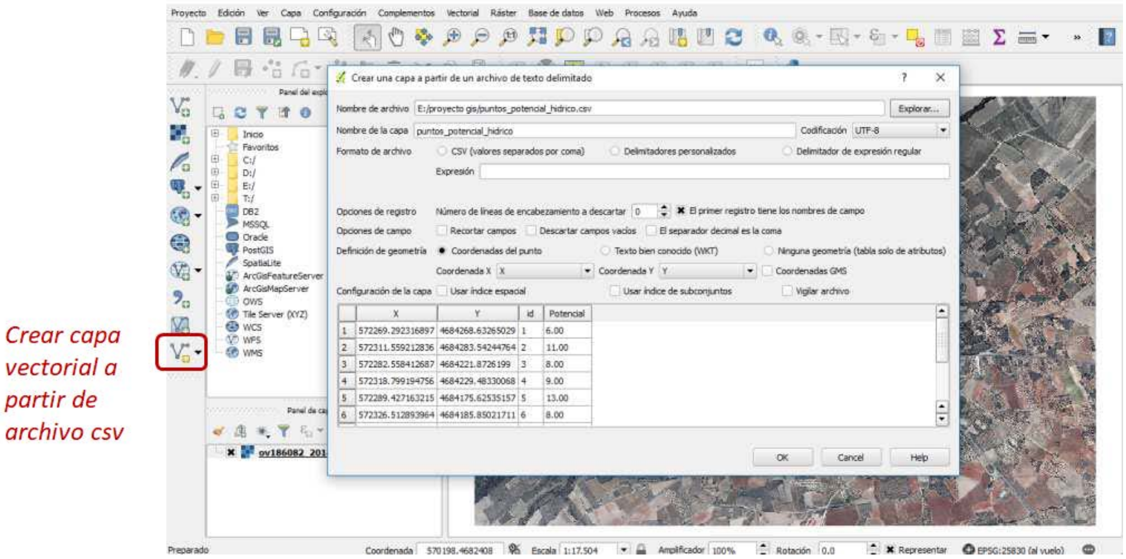


4. Para importar los datos de potencial hídrico y crear una capa vectorial de puntos es necesario disponer de un fichero Excel o de texto (.csv) donde al menos esté recogida la información de cada punto, es decir, coordenadas X e Y, y valor del atributo, en este caso, el valor del potencial hídrico.

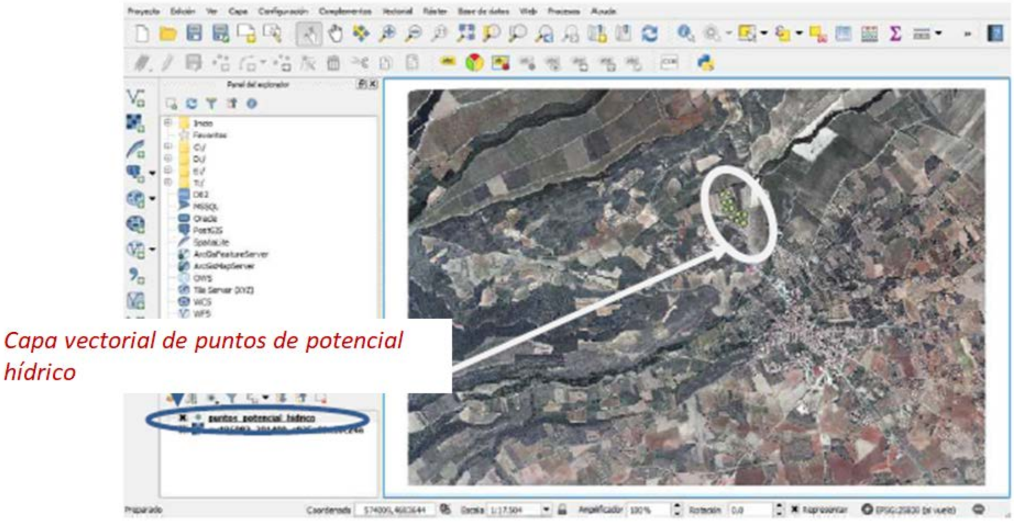


X	Y	id	Potencial
572269.292	4684268.63	1	6
572311.559	4684283.54	2	11
572282.558	4684221.87	3	8
572318.799	4684229.48	4	9
572289.427	4684175.63	5	13
572326.513	4684185.85	6	8
572324.45	4684132.27	7	5
572364.391	4684147.45	8	6
572406.822	4684146.44	9	6
572362.185	4684107.77	10	9
572402.745	4684091.11	11	11

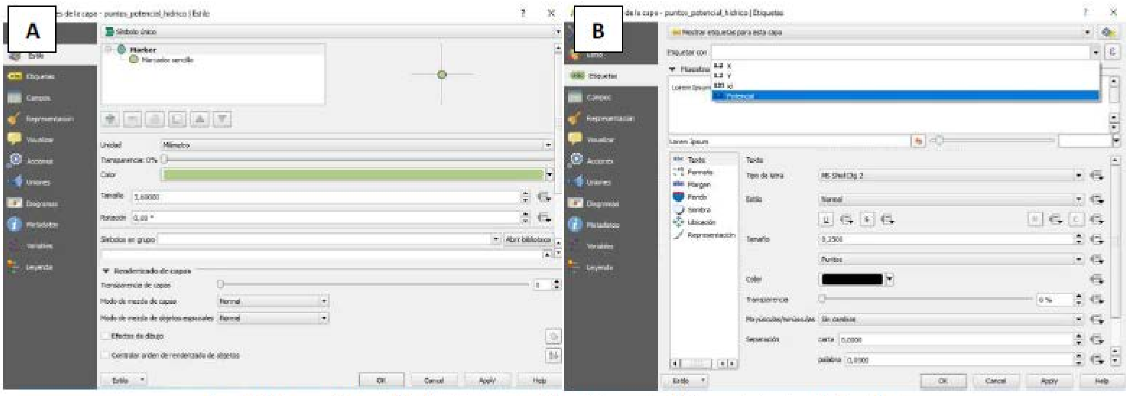
5. A continuación, se debe crear una capa vectorial de puntos. Para ello hacer clic en el icono de Crear capa vectorial a partir de archivo de texto delimitado (csv, *comma separated values*) y seleccionar el fichero Excel, .txt o .csv, y nombrar la capa vectorial creada.

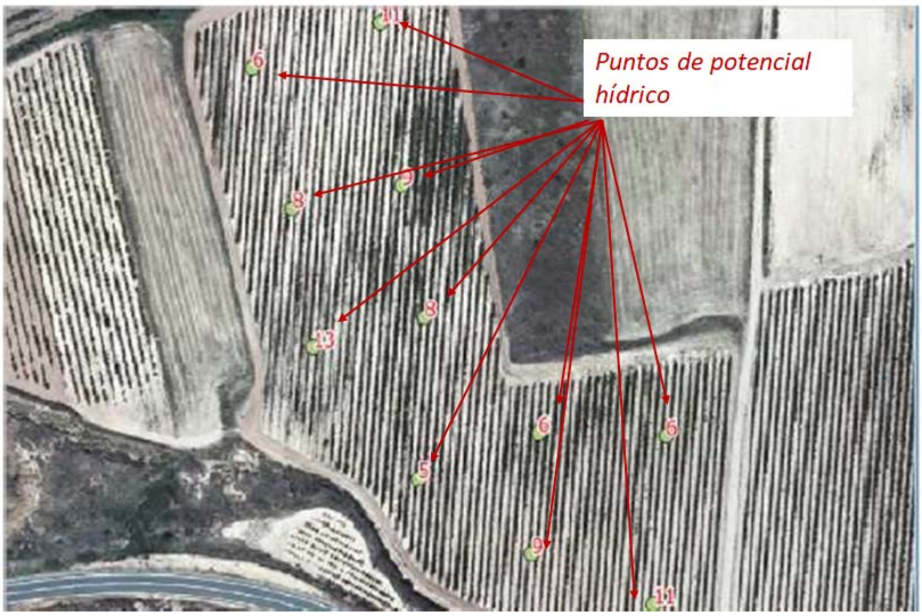


6. Al aceptar (OK) aparece la capa de vectorial de puntos, georreferenciados y situados de forma superpuesta a la ortofoto o capa ráster. En el Panel de Capas aparece la nueva capa vectorial creada.



7. Por último, hacer Zoom a la capa (para centrar la visualización de la zona de interés), hacer clic en el botón derecho del ratón sobre la capa vectorial de puntos creada y cambiar el formato/visualización de los puntos. Se puede modificar el tipo de marcador/color, y asignar etiquetas, seleccionando el atributo de interés (ej. Potencial hídrico) para que los valores de éste aparezcan en la ventana de visualización de QGis.





Ficha 5.2. Mapa de pendientes y zonas aptas para la urbanización.

Tipos de función: geomorfometría y reclasificación

(grupo 2b)

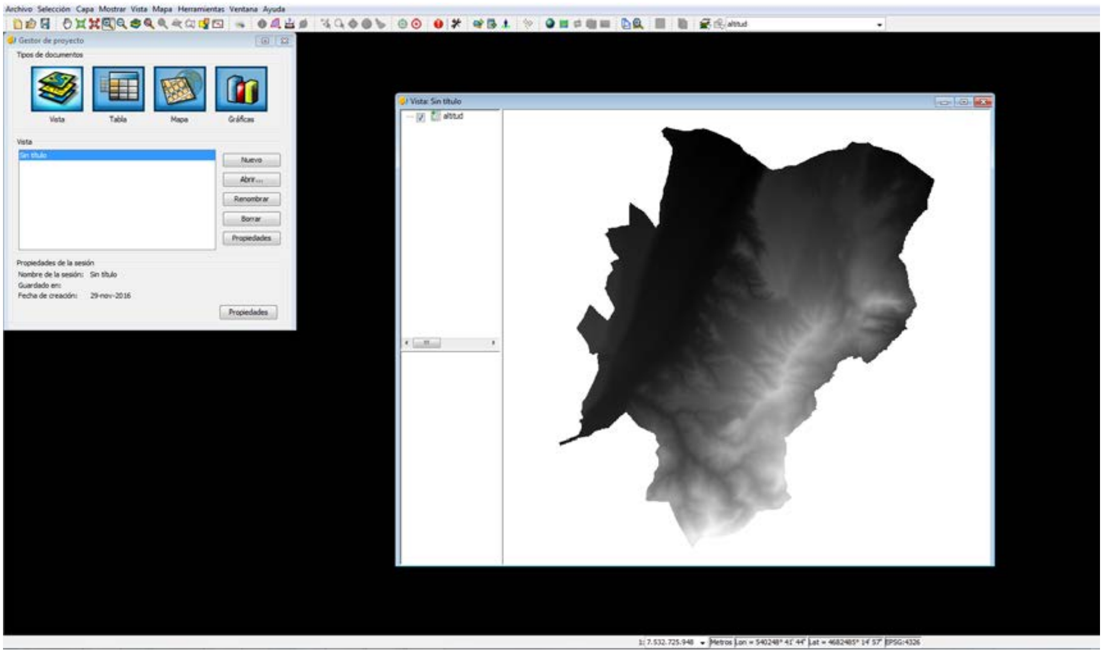
Objetivo: elaborar un mapa en el que aparezcan las zonas sin restricción por pendiente para la urbanización (i.e., zonas <10% de pendiente). Para ello deberemos, en primer lugar, elaborar un mapa de pendientes a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y, a continuación, llevar a cabo una reclasificación de ese mapa.

Software: gvSIG

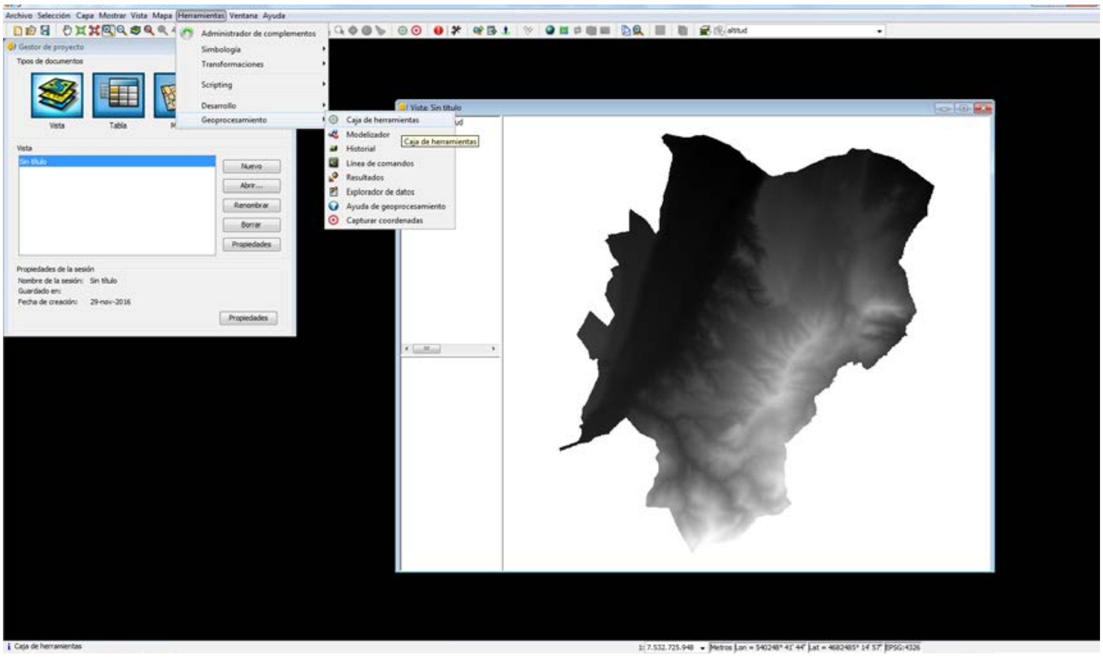
Procedimiento

1. Mapa de pendientes

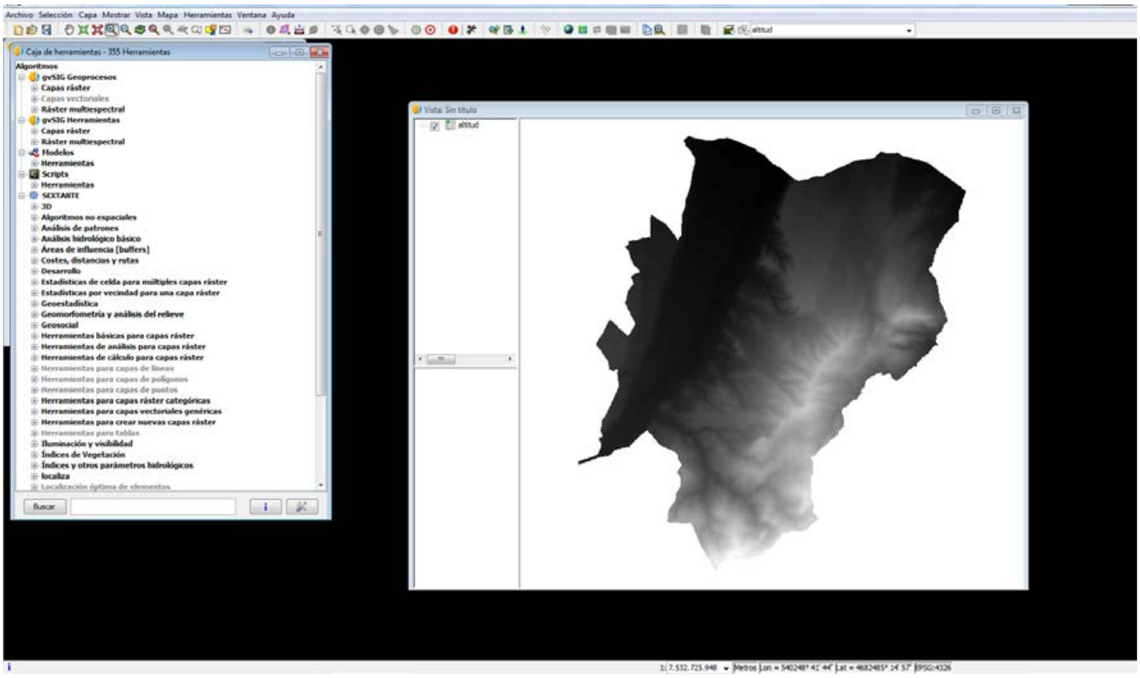
1.1. En el Gestor de proyecto, abrid una nueva Vista y añadid el mapa "altitud". Para ello, en la Barra de botones, pinchad en Añadir capa  > Añadir > Buscáis la carpeta donde tenéis el archivo "altitud" y lo abrís > Todo normal > Aceptar.



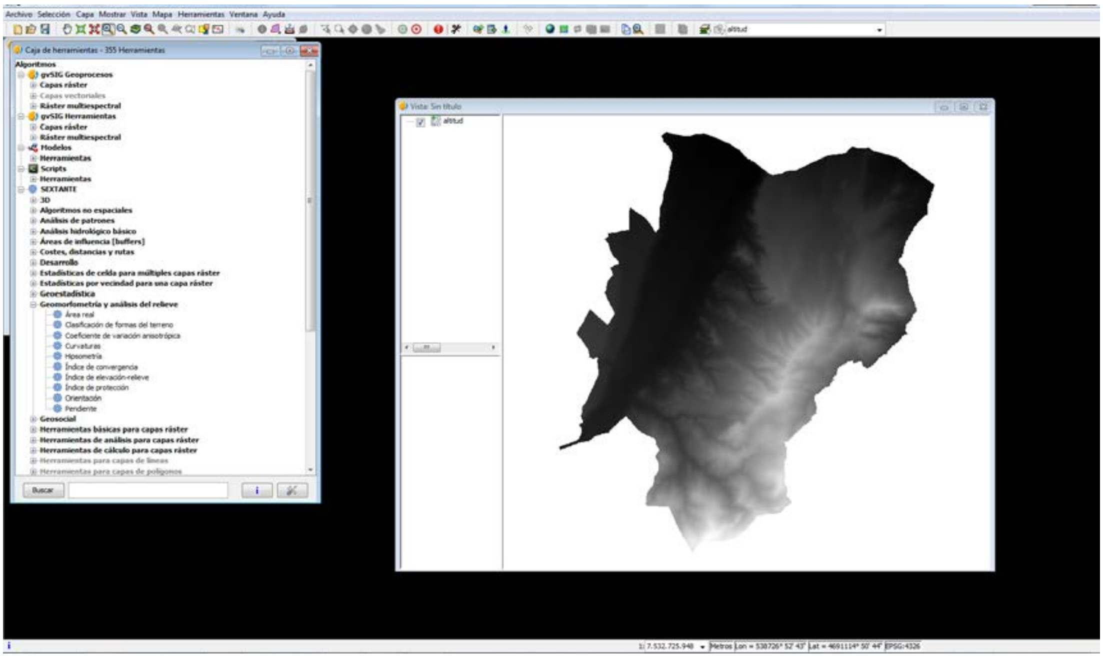
1.2. En la Barra de menús pinchad en Herramientas > Geoprocesamiento> Caja de Herramientas.



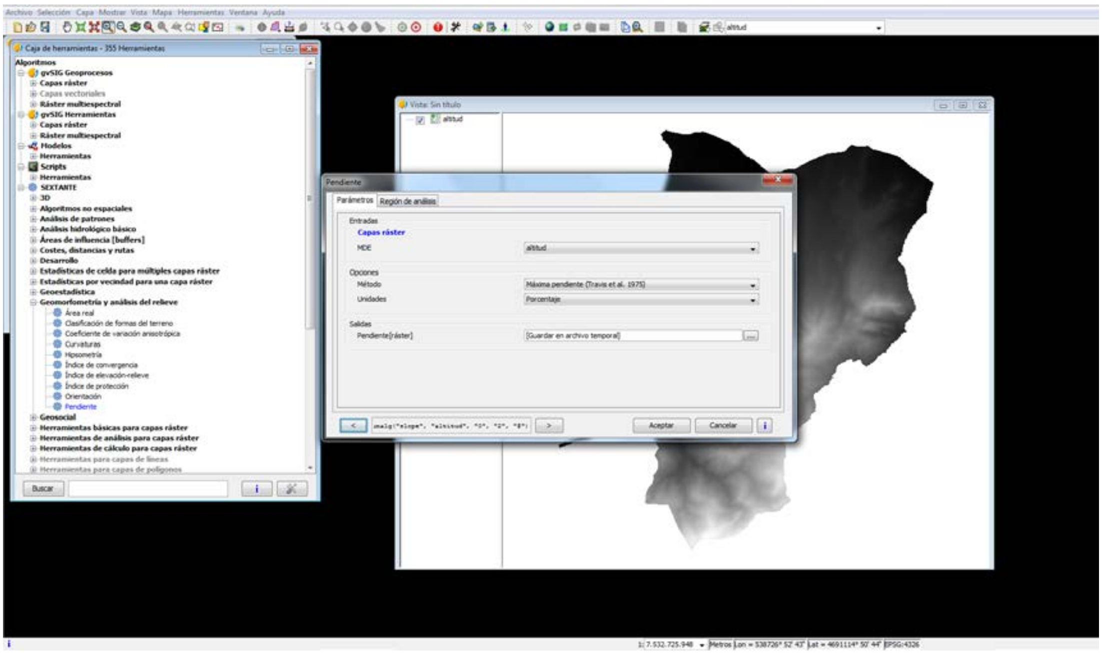
Se abrirá una ventana a la izquierda con una gran cantidad de herramientas que permiten realizar análisis espaciales.



1.3. En la opción SEXTANTE, pinchad en Geomorfometría y análisis del relieve. Se desplegará un menú.



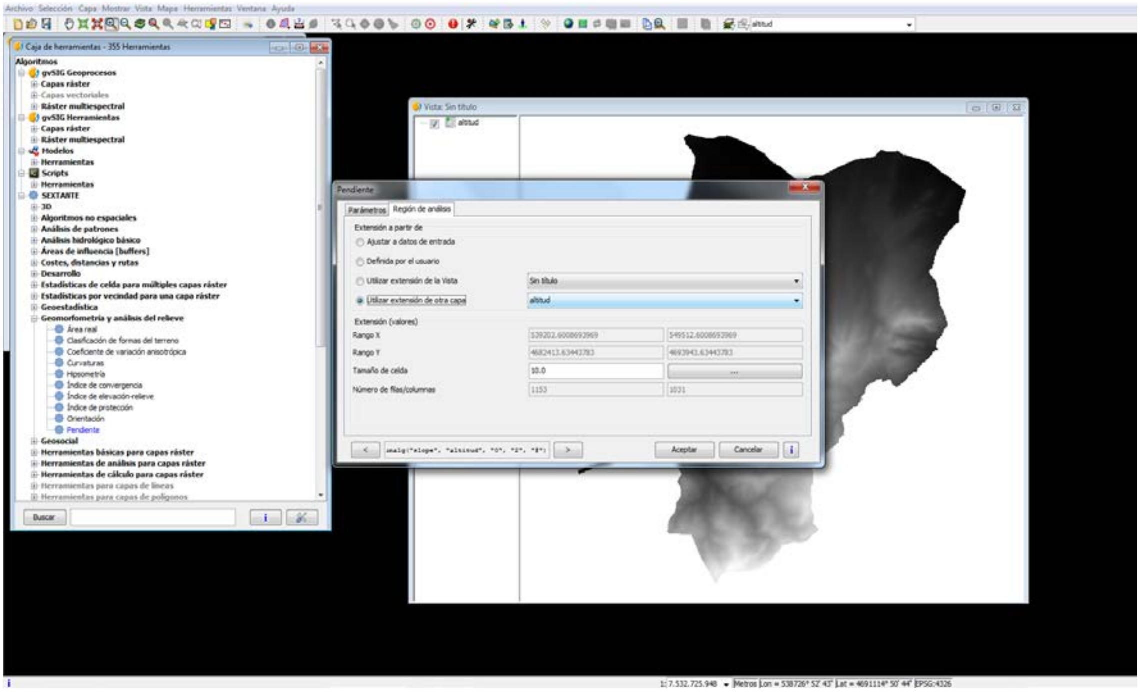
1.4. Pinchad doble clic en Pendiente. Se abrirá una ventana nueva con dos pestañas.



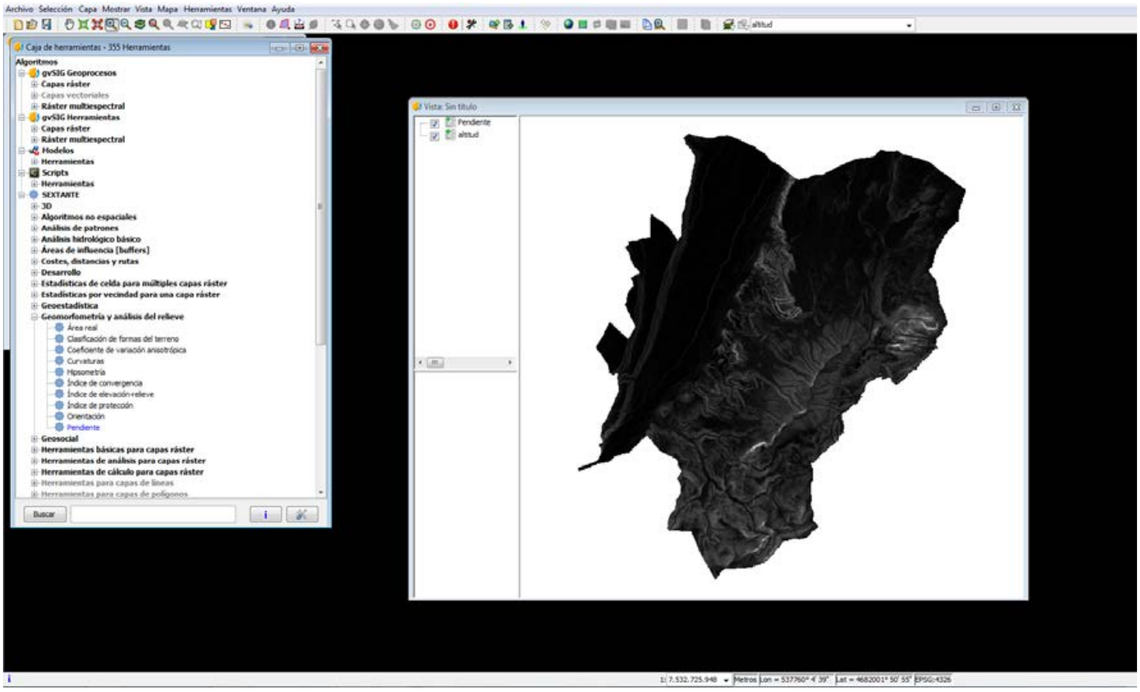
1.5. En la pestaña Parámetros tiene que aparecer la siguiente información:

MDE	altitud (es el mapa que tenéis abierto en vuestra Vista)
Método	Máxima pendiente Travis et al. 1975 (el programa da la opción de elegir el algoritmo para calcular la pendiente a partir del MDE)
Unidades	porcentaje (la pendiente también se puede expresar en grados o en radianes)
Salidas	Guardar en archivo temporal (la opción que aparece por defecto)

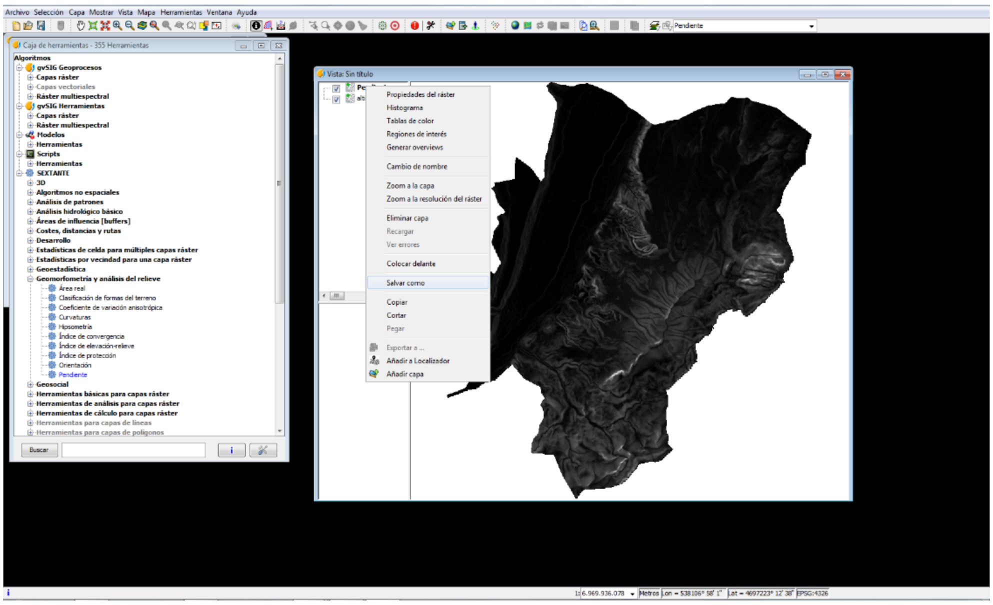
1.6. En la pestaña Región de análisis elegid la opción "Utilizar la extensión de otra capa" altitud (aquí estamos definiendo el área que va a ocupar el nuevo mapa y su resolución espacial, que van a ser las mismas que las del mapa "altitud").



1.7. Aceptar. Os tiene que aparecer en la Vista ¡un estupendo mapa de pendientes.



1.8. Por último, es necesario guardar en nuestro equipo este nuevo mapa ya que gvSIG ha generado un mapa temporal (que ha llamado "Pendiente"). Para ello, pinchad con el botón derecho sobre la palabra "Pendiente" > Salvar como.

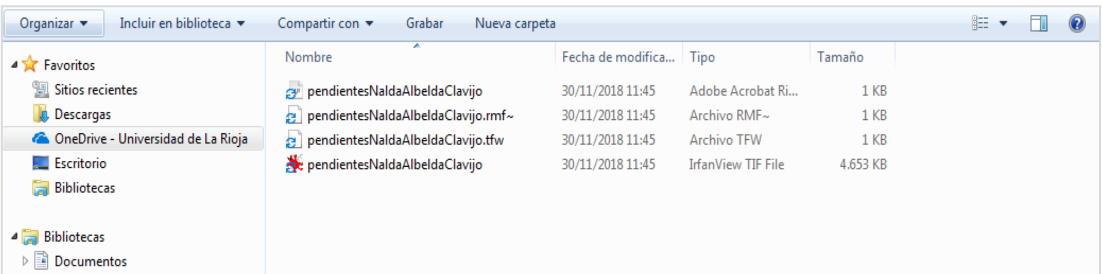


Es recomendable que la ruta de acceso a la carpeta donde guardáis los mapas no sea muy larga (es decir, no sea una subcarpeta de una subcarpeta de una subcarpeta etc.) ya que a veces gvSIG se pierde con rutas largas y puede dar problemas.

Importante: los nombres de los mapas que guardéis no tienen que tener espacios ni símbolos "extraños" (%, $, tildes…) porque gvSIG no los lee bien. Por ejemplo, el mapa de pendientes que yo he creado lo he llamado "pendientesNaldaAlbeldaClavijo". Lo mismo para las carpetas y subcarpetas.

El programa os preguntará si queréis cargar la capa en el TOC (Tabla de Contenidos). Decidle que Sí. Se abrirá una ventana con información estadística, le dais a Aceptar, y aparecerá en la Vista el mapa que habéis guardado y que tiene que ser exactamente igual que el temporal llamado "Pendiente".

Podéis comprobar que en vuestra carpeta se han guardado 3 archivos que forman el mapa de pendientes. Hay un archivo rmf~ que es un archivo temporal.

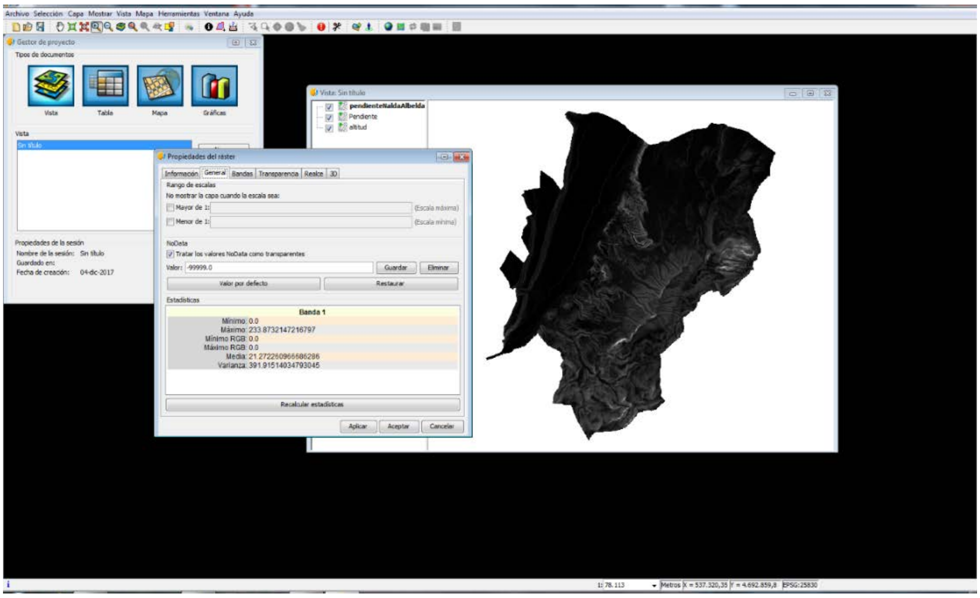


2. Reclasificación del mapa de pendientes

El objetivo es crear un nuevo mapa en el que las zonas aptas (sin restricción) para la construcción tengan el valor 1 y las zonas no aptas (con restricción) tengan el valor 0. Es decir,

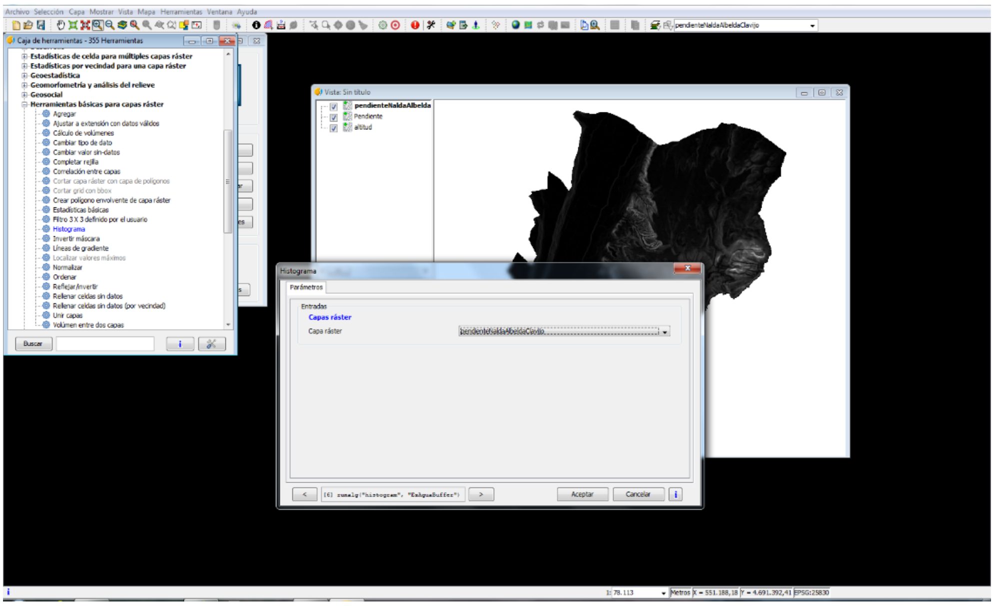
las zonas con una pendiente <10% tendrán un valor 1 y las zonas con una pendiente >10% tendrán un valor 0.

2.1. Para empezar, vamos a ver qué valores de pendiente tiene nuestro mapa. Pinchad con el botón derecho sobre el nombre del mapa de pendientes > Propiedades del ráster. Pinchad la pestaña General.

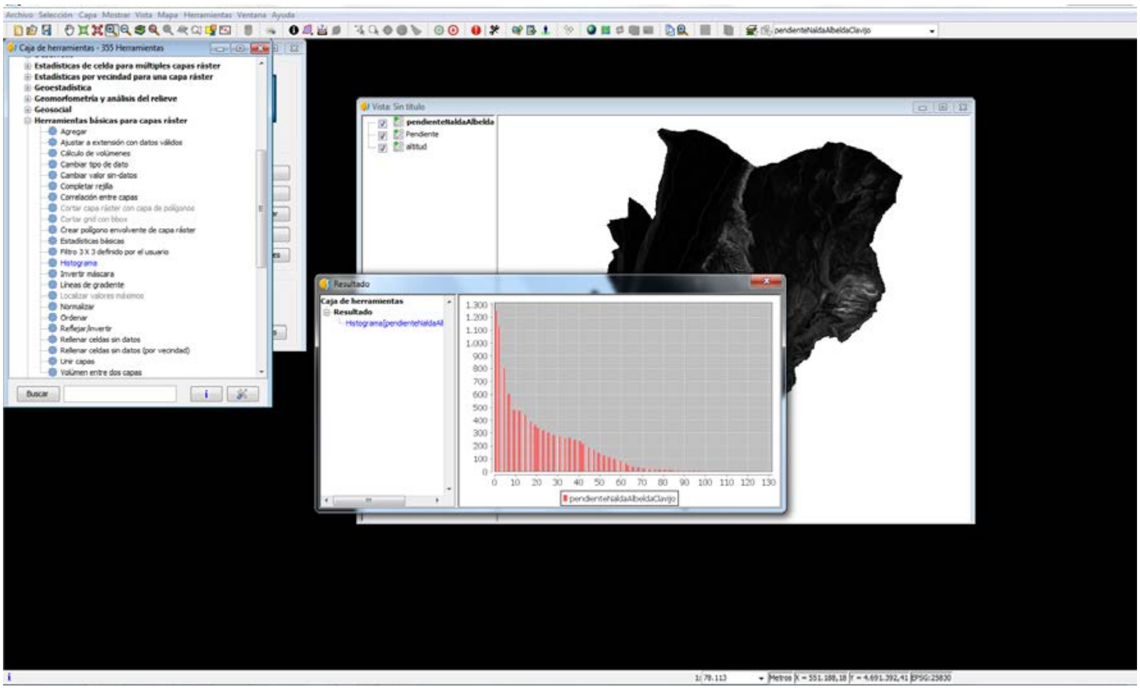


Se os abrirá una ventana. En la parte de "Estadísticas" aparecen los valores máximos y mínimos de vuestro mapa de pendientes. Es decir, hay zonas (píxeles) con pendiente del 0% y píxeles con pendiente del 233,8%. Cerrad la ventana.

Otra manera de conocer la distribución de los valores de pendiente que tiene nuestro mapa, es Herramientas > Geoprocesamiento> Caja de Herramientas> SEXTANTE>Herramientas básicas para capas ráster. Doble clic en Histograma.

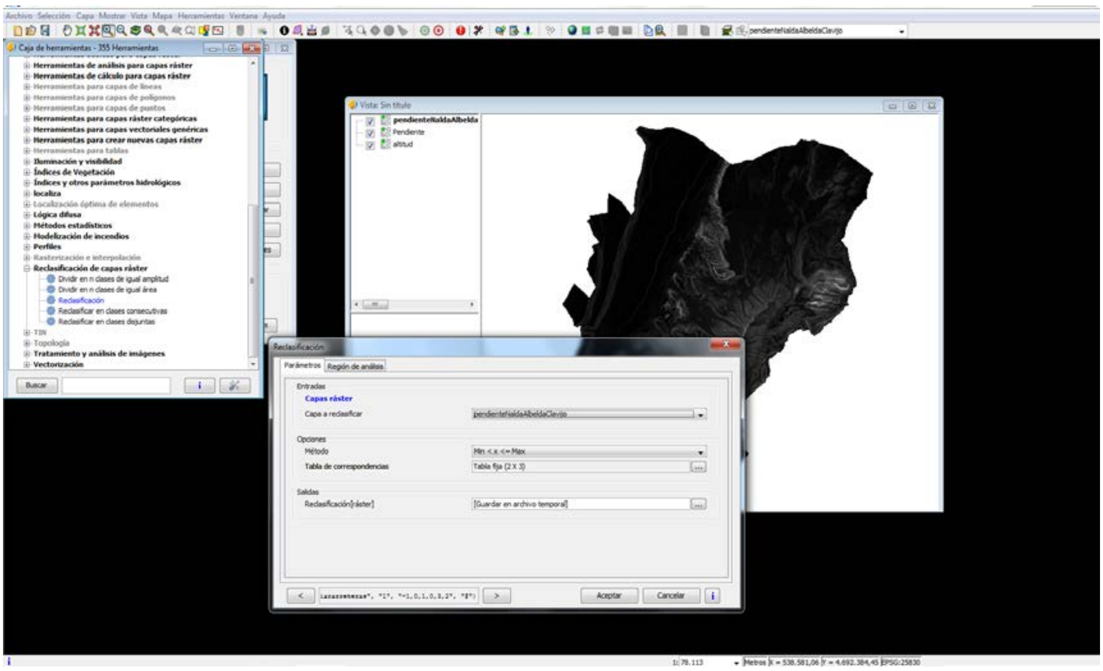


En Capa ráster elegid vuestro mapa de pendientes, Aceptar. Os aparecerá un histograma de frecuencias del número de píxeles (eje y) que hay con una determinada pendiente (eje x).



Como veis en el histograma, la mayor parte de las pendientes están <20% y hay muy pocas zonas (píxeles) con pendientes > 80%. Cerrad la ventana del histograma.

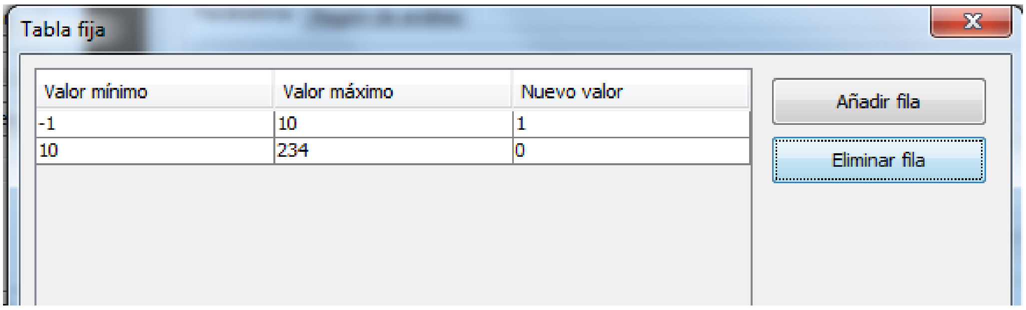
2.2. Para hacer la reclasificación del mapa tenemos que tener la ventana de SEXTANTE abierta. En ella id a Reclasificación de capas raster > Doble clic en Reclasificación. Se abrirá una ventana nueva con dos pestañas.



2.3. En la pestaña Parámetros tiene que aparecer la siguiente información

Capa a reclasificar	vuestro mapa de pendientes
Método	Min < x ≤ Max
Tabla de correspondencias	pinchad en el botón 

Se abrirá una ventana con una tabla que tenéis que rellenar. La tabla tiene que ser así:



Valor mínimo	Valor máximo	Nuevo valor
-1	10	1
10	234	0

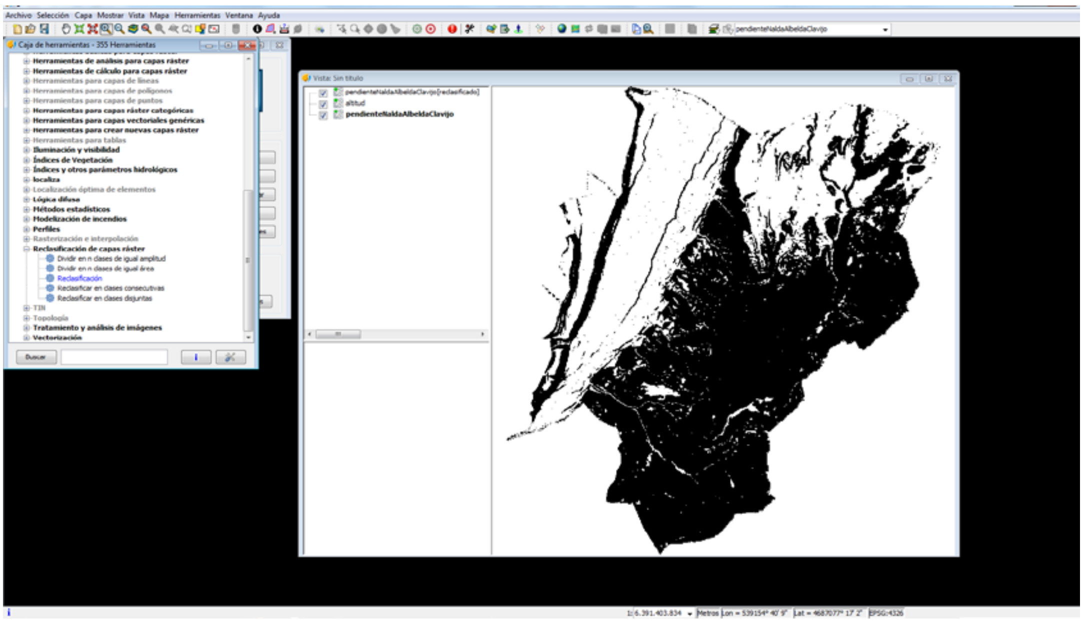
Esto significa que a aquellos píxeles que en el mapa de pendientes tienen un valor superior a -1 e inferior o igual a 10 (es decir, entre 0 y 10 incluidos), se les asignará el valor 1, y a los píxeles con un valor superior a 10 se les asignará el valor 0. Una vez que hayáis rellenado el último número, volved a hacer clic en alguna casilla de la tabla para asegurarnos de que el último número se ha grabado bien. Aceptar.

Salidas Guardar en archivo temporal (la opción que aparece por defecto).

2.4. En la pestaña Región de análisis elegid la opción

"Utilizar la extensión de otra capa" vuestro mapa de pendientes

2.5. Aceptar. Os tiene que aparecer en la Vista ¡un estupendo mapa en blanco y negro!



Pregunta: ¿qué valor tienen las zonas blancas? ¿con qué pendientes se corresponden? ¿y las negras?

2.6. Por último, guardaremos este mapa tal y como hemos hecho en el paso 1.8.

2.7. Podéis cerrar todas las ventanas y el programa descartando cambios. Los dos mapas que habéis creado no se eliminan porque están guardados en la carpeta de vuestro equipo. Sólo se eliminan de la Vista.

Ficha 5.3. Áreas de influencia a cauces

Tipos de función: rasterización y análisis de proximidad

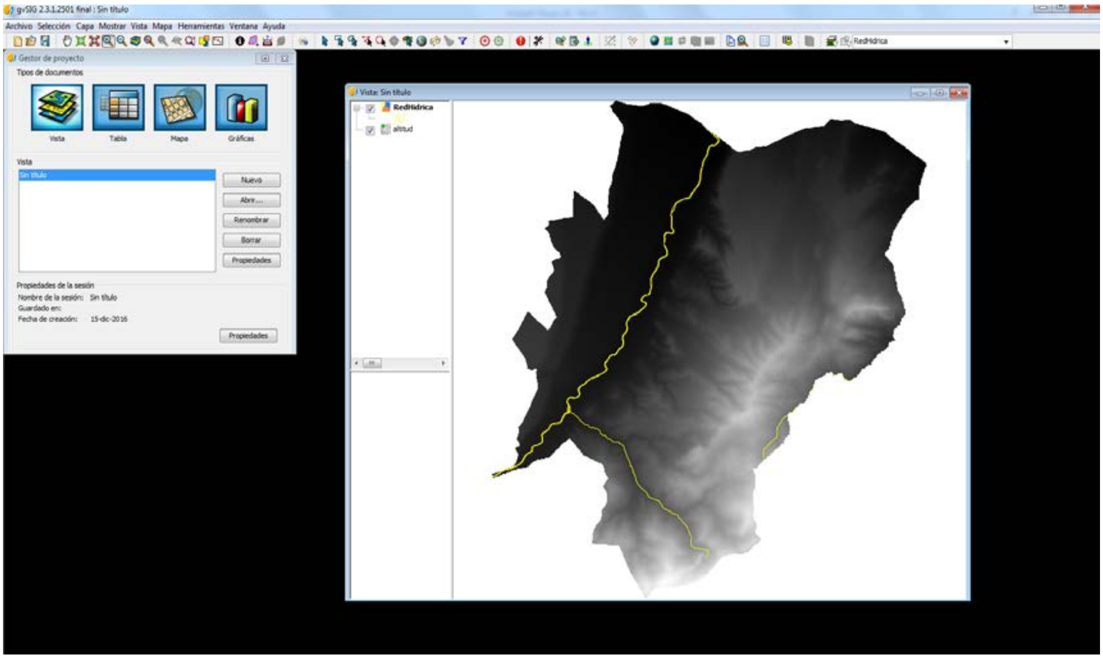
(grupo 2b)

Objetivo: el ejercicio consiste en crear una zona de influencia (buffer) de 100 m en torno a los ríos. Para ello, el mapa de los ríos (*input feature*) en torno al cual se quiere crear una zona de influencia ha de ser un mapa ráster.

Software: gvSIG

Procedimiento

1. Abrid una nueva Vista y añadid los mapas "RedHidrica" y "altitud". Poned los mapas de tal manera que la red hídrica (los ríos) quede por encima del mapa de altitudes. Para ello, en la tabla de contenidos (parte izquierda de la Vista), el mapa de la red hídrica tiene que estar el primero (podéis moverlos pinchando con el cursor sobre los nombres de los mismos)



2. Lo primero que tenemos que hacer es rasterizar el mapa "RedHidrica". Si abrís la Tabla de atributos de este mapa, os daréis cuenta de que no hay ningún valor numérico (necesario para hacer la rasterización). Por ello, antes de rasterizarlo, tendréis que crear un nuevo campo en la tabla de atributos que contenga un valor numérico cualquiera.

Para ello tendréis que editar la tabla. Pinchad con el botón derecho sobre el nombre de la capa y elegid **Comenzar Edición**. Veréis que el nombre de la capa se ha puesto en rojo.

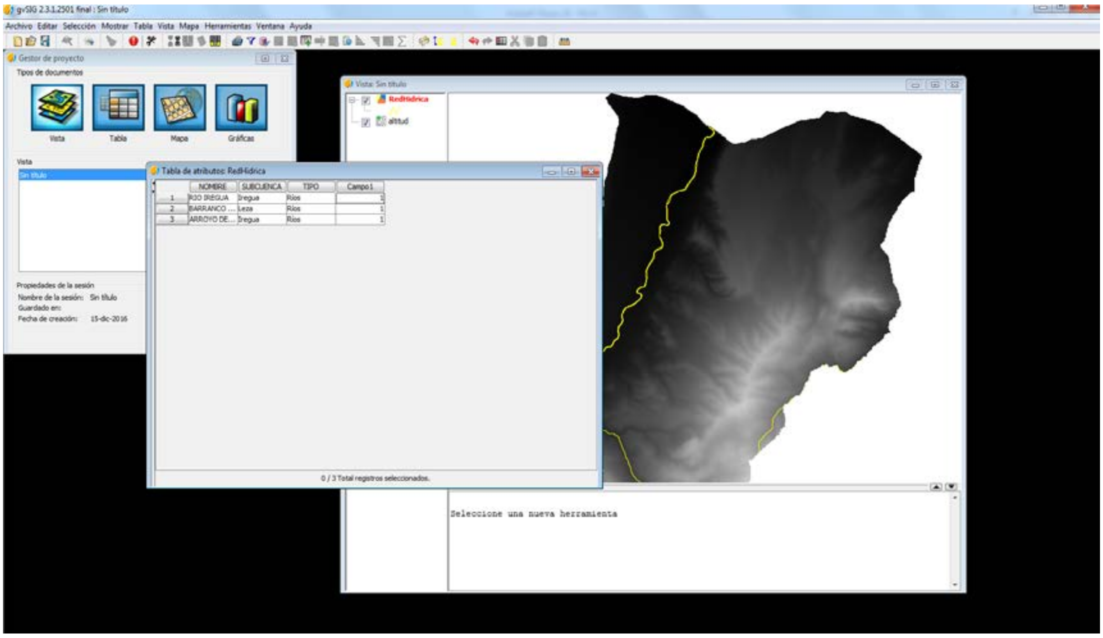
Con la tabla abierta y seleccionada, en la **Barra de menús** pinchad en **Tabla > Añadir columna**.

Se abrirá una pequeña ventana en donde hay que definir las características de esta nueva columna (campo).

Nombre del campo	Campo1
Tipo	Integer (número entero)
Tamaño	dejad el número que hay por defecto (en nuestro caso no tienen mucha importancia)
Valor por defecto	1

Aceptar

Ahora vuestra tabla debe tener una nueva columna titulada Campo1 con todo valores 1:



No os olvidéis de Terminar edición y Guardar.

3. A continuación hay que rasterizar el mapa RedHidrica. La transformación de vectorial a ráster se hace con SEXTANTE (ver ficha 3).

En la opción SEXTANTE, pinchad en Rasterización e interpolación > Rasterizar capa vectorial.

Se abrirá una nueva ventana que tenéis que completar.

En la pestaña Parámetros tiene que aparecer la siguiente información:

Capa vectorialredHidrica

Campo Campo1

Salidas Guardar en archivo temporal

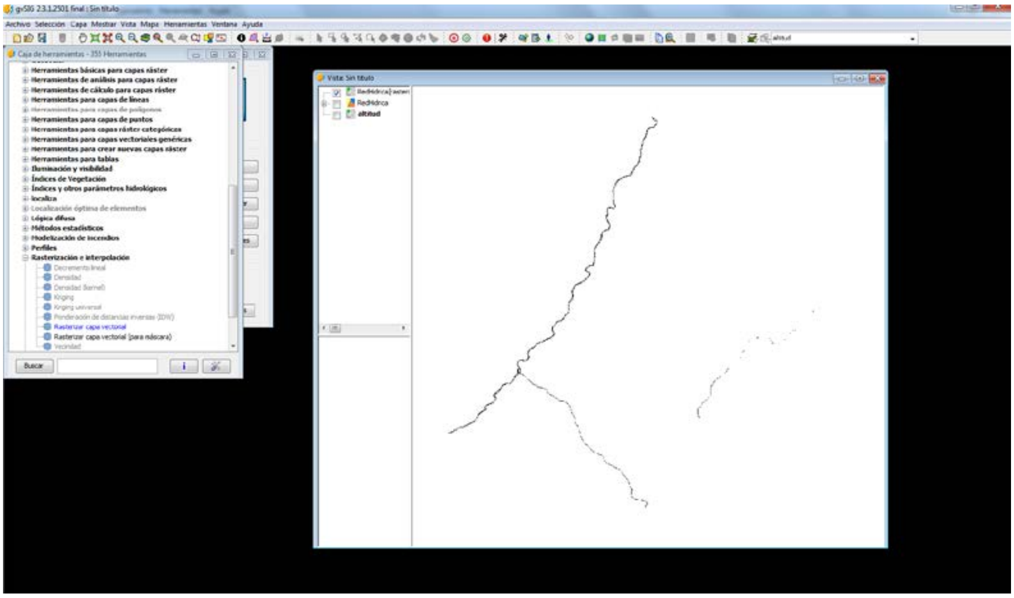
Los mapas vectoriales pueden contener mucha información (muchos atributos) por entidad espacial (polígono, punto, línea). Sin embargo, los mapas ráster sólo tienen un atributo por

píxel. Por eso, cuando el programa va a rasterizar un mapa vectorial, siempre pregunta qué atributo (campo) tiene que utilizar.

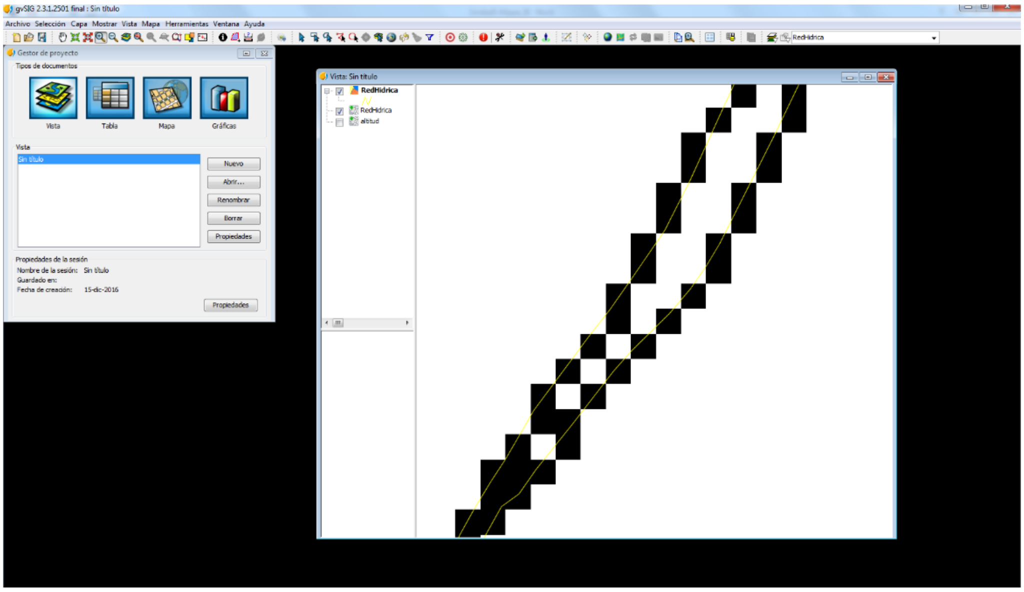
En la pestaña Región de análisis elegid la opción

Utilizar la extensión de otra capa

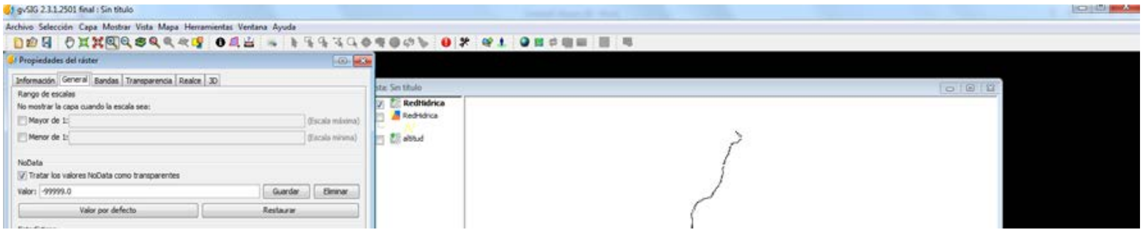
Altitud (aseguraros de que el tamaño de píxel es 10).



Nota: en esta captura de pantalla he desactivado el mapa "altitud" para que se vea mejor "RedHidrica rasterizado". Podéis poner el mapa vectorial "RedHidrica" por encima del mapa ráster que habéis creado y hacer un zoom para observar la coincidencia entre la capa vectorial y la ráster.



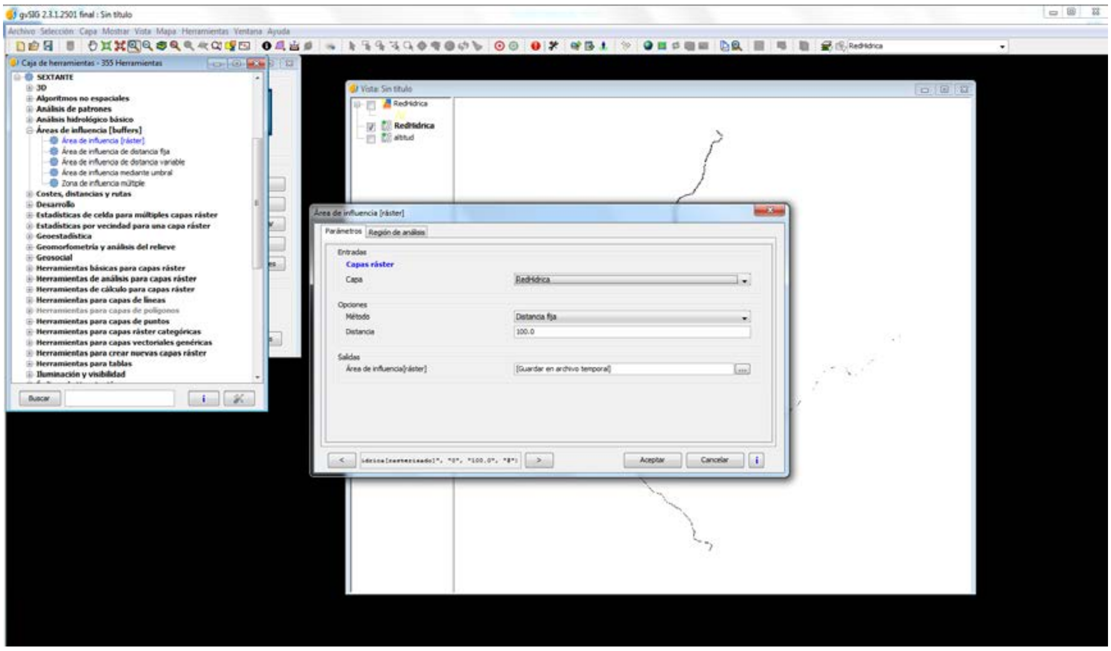
4. Antes de crear la zona de influencia, aseguraros de que en el mapa RedHidrica rasterizado, los valores -99999 aparecen como NoData. Esto lo podéis mirar en Propiedades del ráster, en la pestaña General.



5. Para crear la zona de influencia en torno a los ríos tenemos que tener la ventana de SEXTANTE abierta. En ella id a Áreas de influencia [buffers] > Doble clic en Área de influencia [ráster]. Se abrirá una ventana nueva con dos pestañas:

   En la pestaña Parámetros tiene que aparecer la siguiente información:

Capa	el mapa de los ríos rasterizado
Método	Distancia fija
Distancia	100
Salidas	Guardar en archivo temporal (la opción que aparece por defecto)



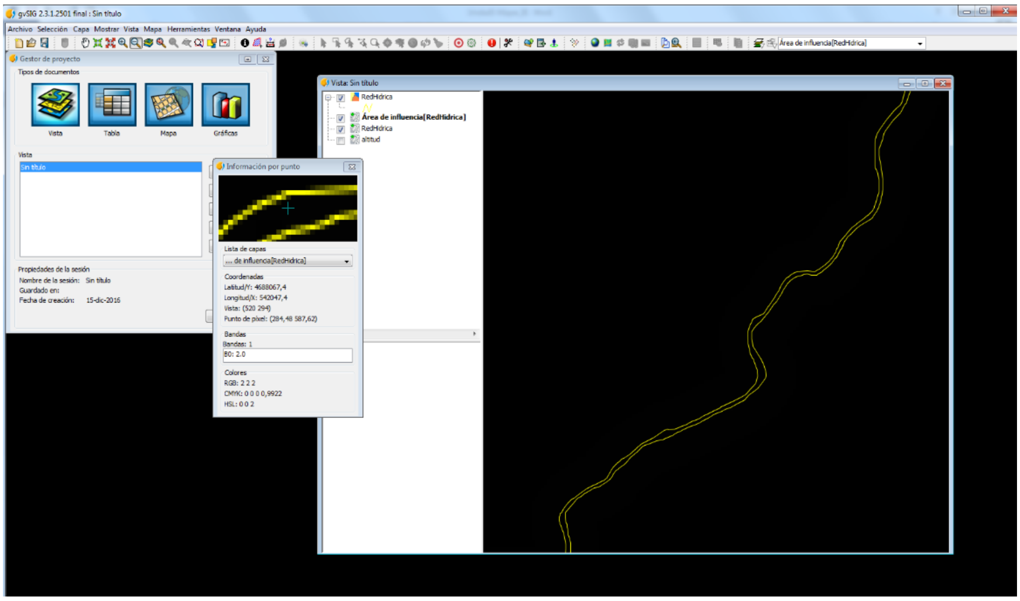
En la pestaña Región de análisis

elegid la opción Utilizar la extensión de otra capa: el mapa de altitud.

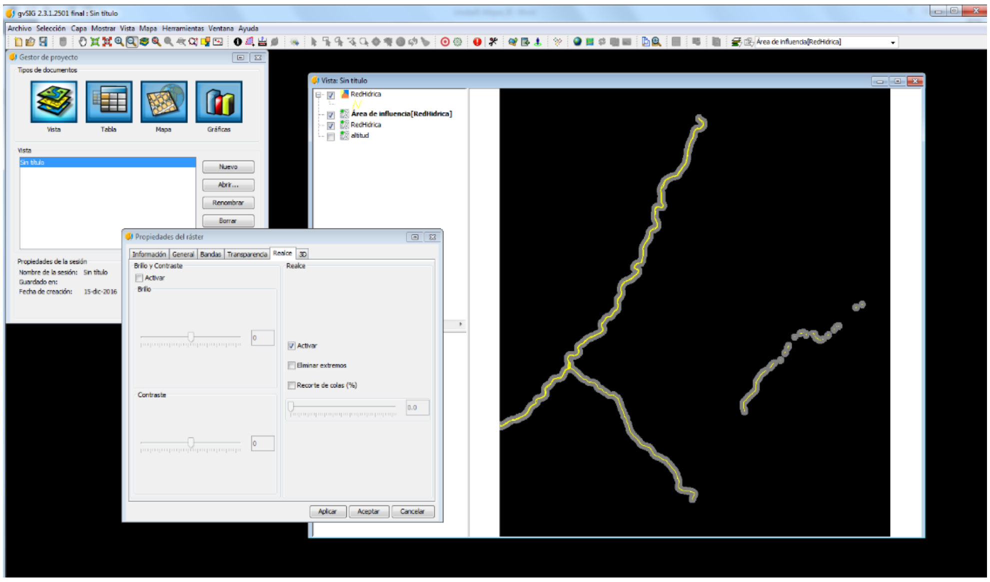
Aceptar

6. Os tendría que aparecer en la Vista un estupendo mapa en blanco, gris y negro con valores 2 (los ríos), valores 1 (la zona de influencia de 100 m en torno a los ríos) y 0 (el resto del mapa). Pero es posible que os aparezca un mapa totalmente negro. No os preocupéis, es simplemente un problema de visualización. Si el mapa está correcto, tiene que tener los valores 2, 1 y 0. Para comprobarlo, con la ayuda del mapa vectorial "RedHidrica" (poniéndolo por encima),

pinchad con el botón de Información  sobre el mapa que acabáis de crear, en concreto sobre los ríos y cerca de los ríos. En la ventanita de Información por punto os tiene que salir 0.0, 1.0 o 2.0. NOTA: el mapa sobre el que estáis consultando la información (i.e., el mapa de zonas de influencia) tiene que estar activado (en negrita).



Este problema de visualización se puede solucionar de la siguiente manera: en Propiedades del ráster (del mapa de zonas de influencia), id a la pestaña Realce y en Realce (parte derecha), seleccionar la casilla “Activar”.



Ahora os tiene que aparecer un mapa con zonas blancas que se corresponden con los ríos (valor 2), zonas grises que se corresponden con la zona de influencia de 100 m (valor 1) y el resto del mapa en negro (valor 0).

Aplicar

7. No os olvidéis de guardar este nuevo mapa.

Ficha 5.4. Modelo de decisión

Tipo de función: álgebra de mapas

(grupo 2b)

Objetivo: El ejercicio consiste en elaborar una regla (o modelo) de decisión que permita evaluar las áreas óptimas para la urbanización, es decir, áreas sin ninguna limitación territorial.

Regla de decisión

Mapa final = A x B x C x D x E

Donde A, B, C, D, E son los mapas limitantes (con valores 0 y 1)

A = mapa de zonas sin restricción por pendiente

B = mapa de zonas sin restricción por la litología

C = mapa de zonas sin restricción por la cubierta vegetal

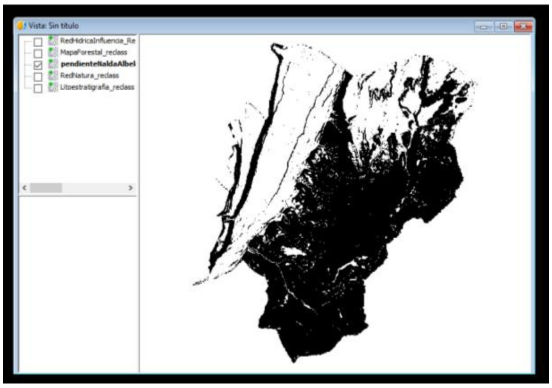
D = mapa de zonas sin restricción por espacios protegidos

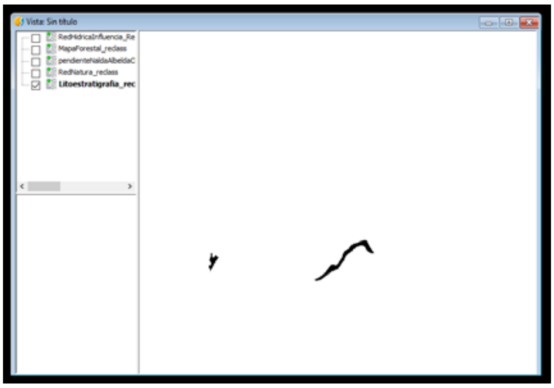
E = mapa de zonas sin restricción por proximidad a cauces

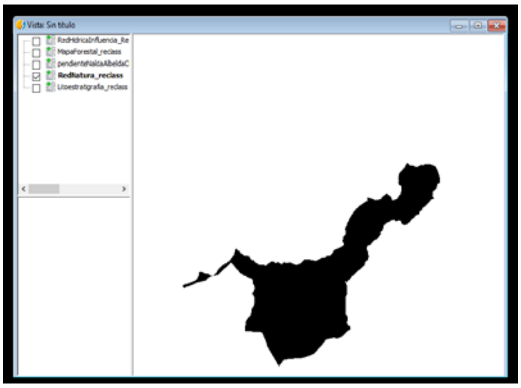
Software: gvSIG

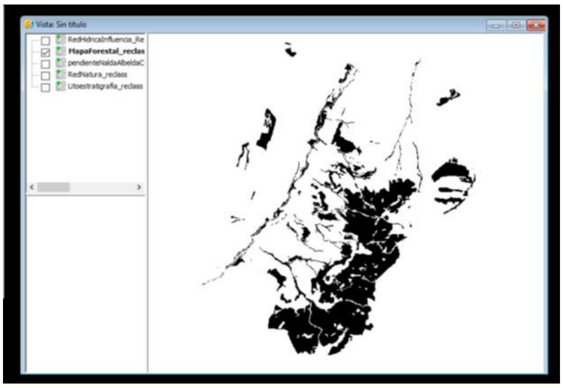
Procedimiento

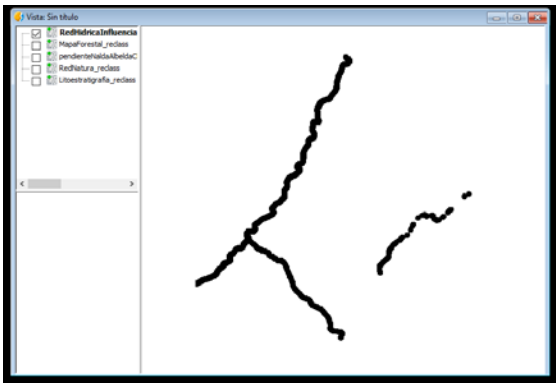
1. Abrid en una nueva Vista los mapas A, B, C, D, E.



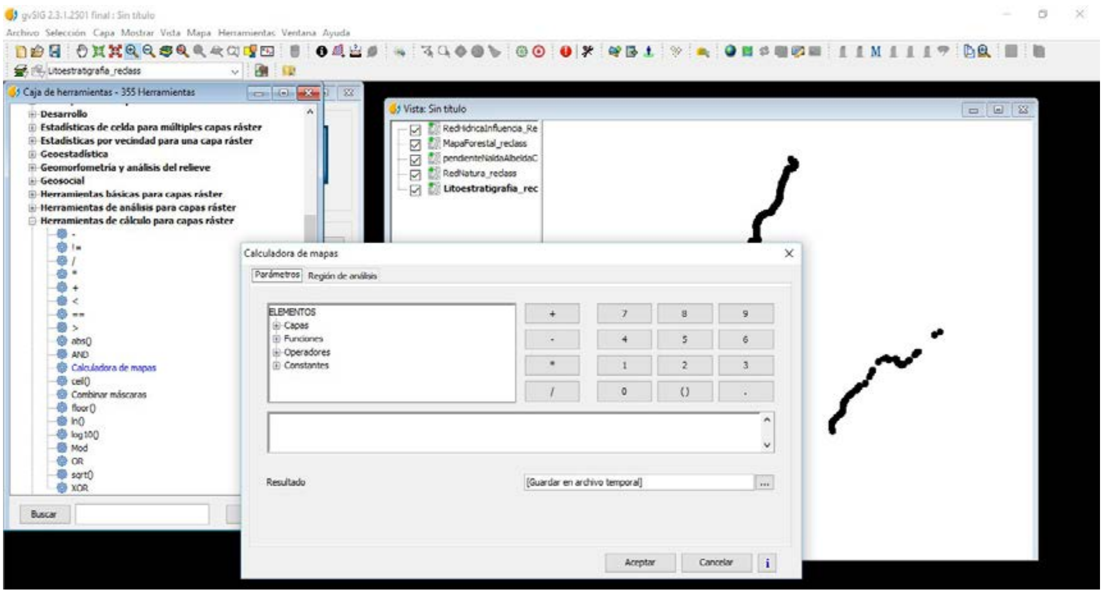




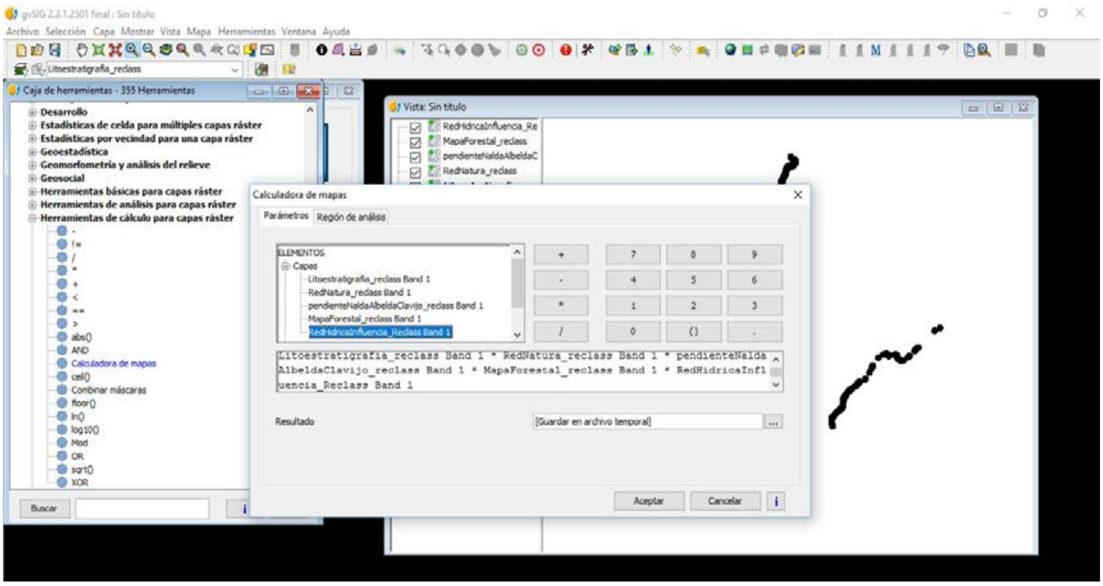




2. Id a SEXTANTE > Herramientas de cálculo para capas ráster > Calculadora de mapas. Se abrirá una ventana nueva con dos pestañas: Parámetros y Región de análisis.



En la pestaña Parámetros vamos a introducir la regla de decisión. Si abrís el desplegable “Capas” veréis los 5 mapas que tenéis abiertos (y activados) en la Vista. En la parte central de la ventana tenéis operadores. Pinchad doble clic sobre el nombre del primer mapa (aparecerá en el recuadro de la parte de abajo); a continuación (sin espacios), pinchad una vez sobre el símbolo de multiplicar (*). A continuación, doble clic sobre el nombre del segundo mapa; etc. hasta tener una multiplicación con los 5 mapas:

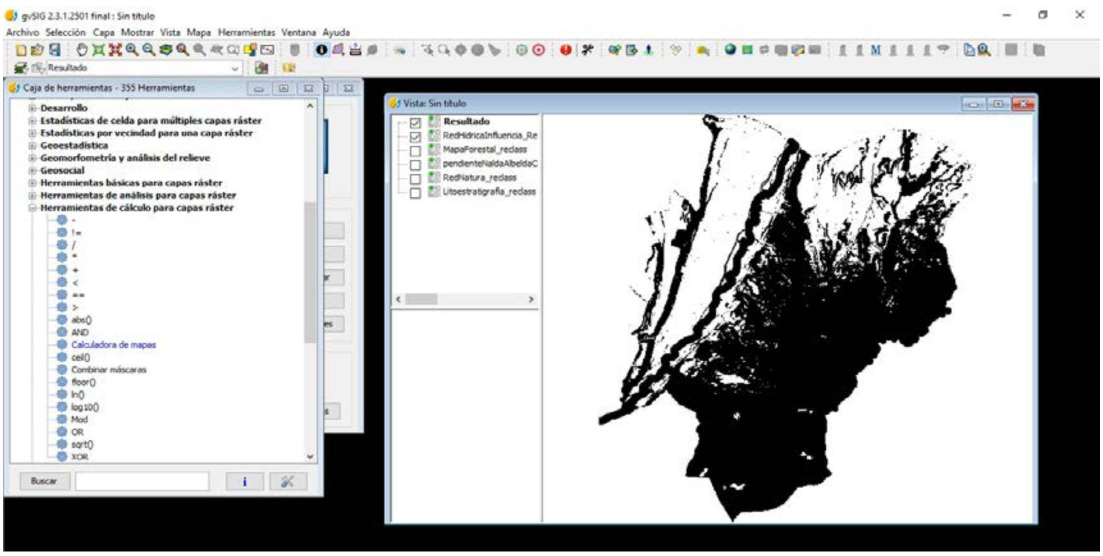


Es importante que los nombres de los mapas no tengan espacios ni símbolos “extraños” (tildes, etc.).

Resultado: guardar en archivo temporal (la opción que aparece por defecto)

En la pestaña Región de análisis elegid la opción Utilizar la extensión de otra capa por ejemplo el mapa de zonas sin restricción por pendiente y finalmente darle a aceptar.

Os tiene que aparecer en la Vista un mapa en el que las zonas sin ninguna restricción, es decir, donde se puede urbanizar, aparecen en blanco (valor1) y las zonas con restricción (con algún limitante para la urbanización), en negro (valor 0). Éste es el resultado de la multiplicación de los 5 mapas.



Ficha 5.5. Generación de un mapa por interpolación

Tipo de función: recorte/interpolación

(grupo 2b)

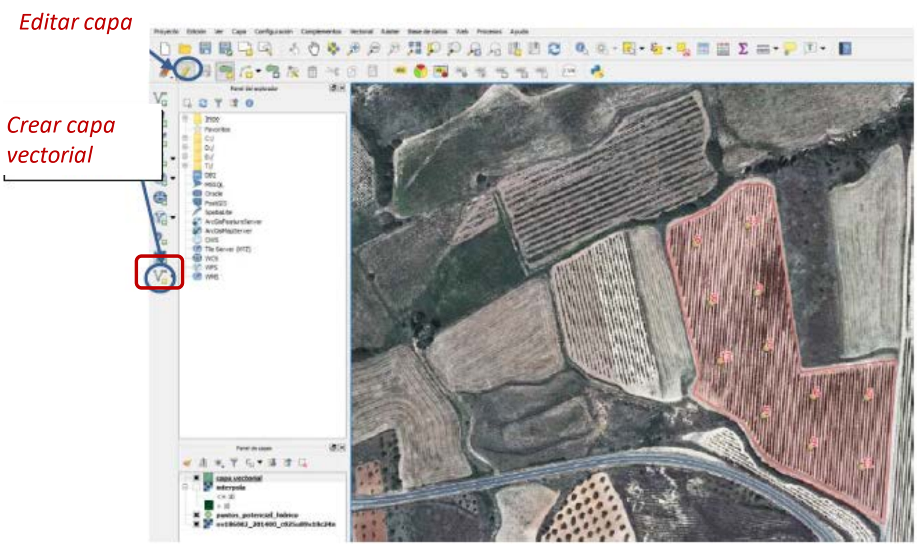
Título: Generación de un mapa del estado hídrico de una parcela de viñedo

Objetivo: El objetivo de esta práctica es generar un mapa de la variabilidad del estado hídrico del viñedo mediante interpolación, a partir de unos datos experimentales tomados en campo.

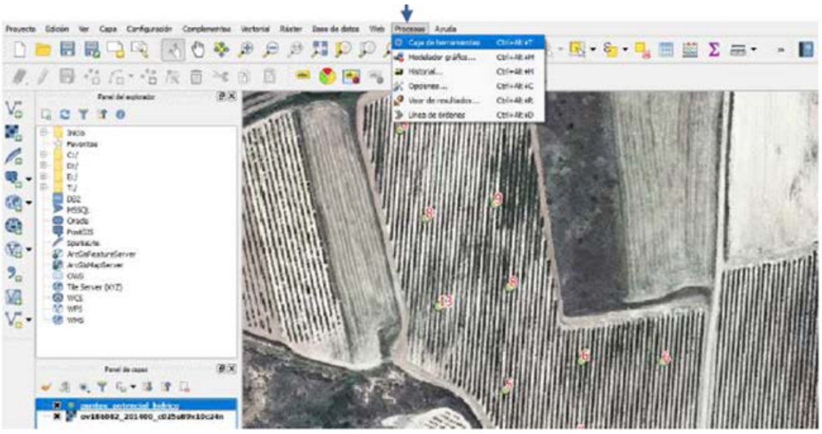
Procedimiento

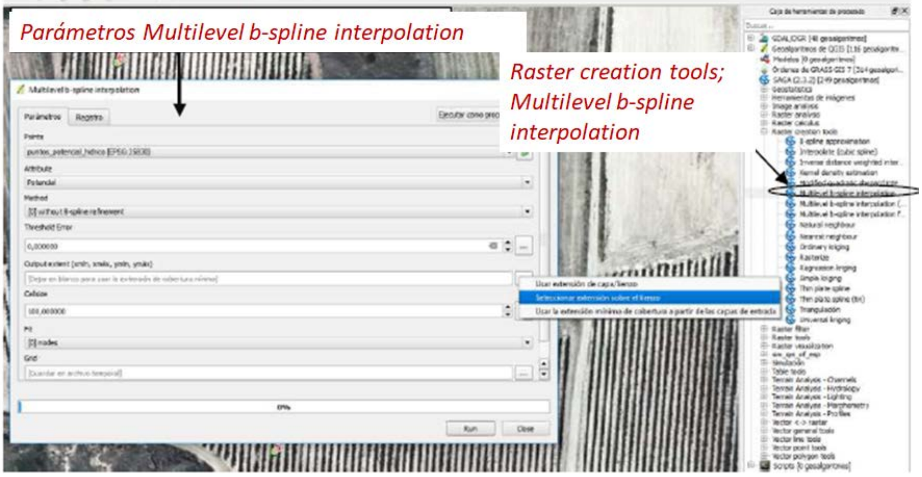
1. En primer lugar, es necesario cargar los puntos experimentales en el sistema GIS (ejemplo QGis). Para ello seguir los pasos descritos en la Ficha 5.1.

2. Una vez situados los puntos experimentales en la ortofoto de la parcela de viñedo a estudio se procederá a delimitar la parcela. Así, es necesario crear una capa vectorial de tipo polígono, que siga el perímetro de la parcela de interés. Para ello, hacer clic en el icono de creación de capa vectorial y activar su edición (haciendo clic en el icono del lápiz). A continuación, ir dibujando con trazos pequeños y consecutivos todo el perímetro de la parcela a estudio, haciendo doble clic al final para cerrar el polígono. Volver a hacer clic en el icono del lápiz para deshabilitar la edición de la capa. En el panel de capas aparecerá el nombre de la nueva capa polígono creada, que habremos nombrado previamente.



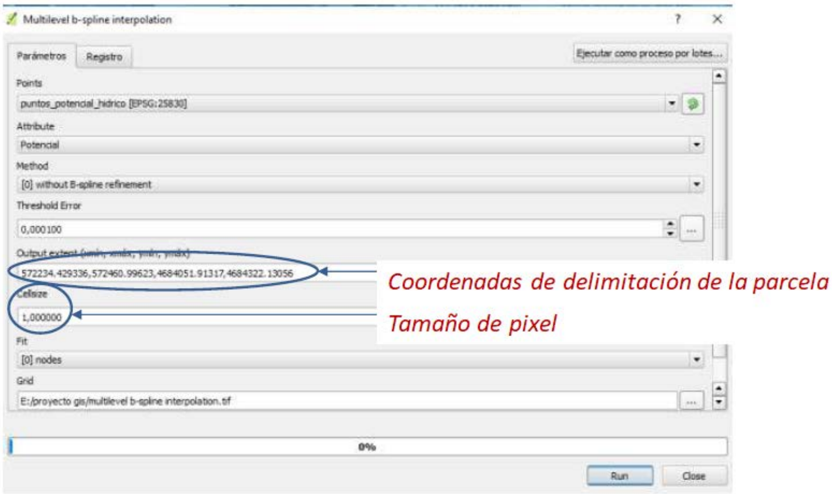
3. Para llevar a cabo la interpolación de los puntos de potencial hídrico se debe hacer clic en el menú Procesos (en la barra del menú superior). Seleccionar: Procesos; Caja de herramientas y en la parte derecha, en el desplegable que se presenta, seleccionar SAGA (2.3.2); Raster creation tools, Multilevel b-spline interpolation. El tipo de interpolación b-spline es uno de los tipos que existen, pero se podría haber seleccionado alguna herramienta Kriging, por ejemplo.



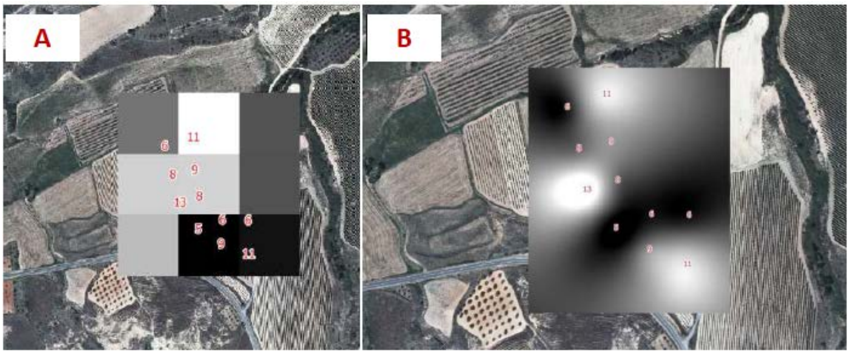


4. En la opcion Mulilevel b-spline interpolation se abre una ventana en la que es posible modificar distintos parámetros de la interpolación. Así, ajustar los parámetros siguientes como se indica: Parametros: Atributos (potencial), método (without B-spline refinement), output extent (seleccionar extensión sobre el lienzo) en el que se puede limitar la región donde se desea realizar la interpolación. Seleccionar un tamaño de pixel adecuado, por ejemplo 1. Si se selecciona un valor mayo (ej. 10) la interpolación será más grosera y hacer clic en Run.

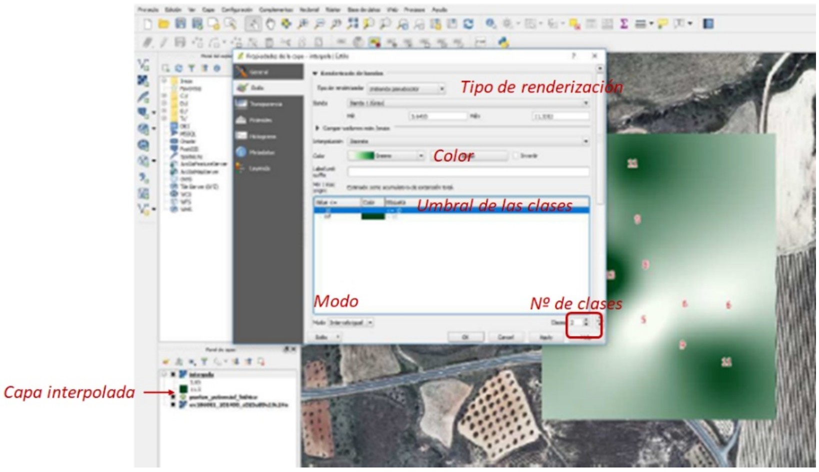




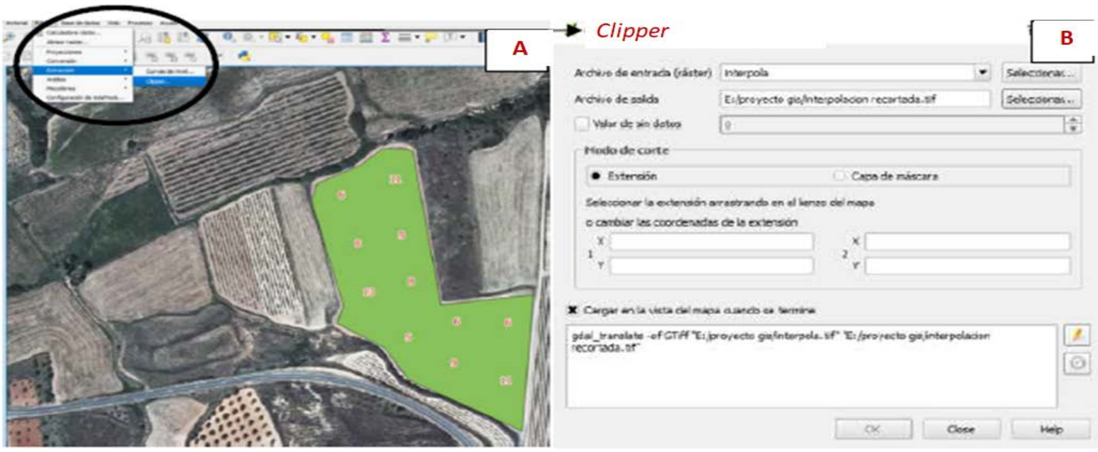
A continuación, se muestran sendos ejemplos de interpolación con distinto tamaño de pixel (100 a la izquierda (A) y 1 a la derecha (B)).

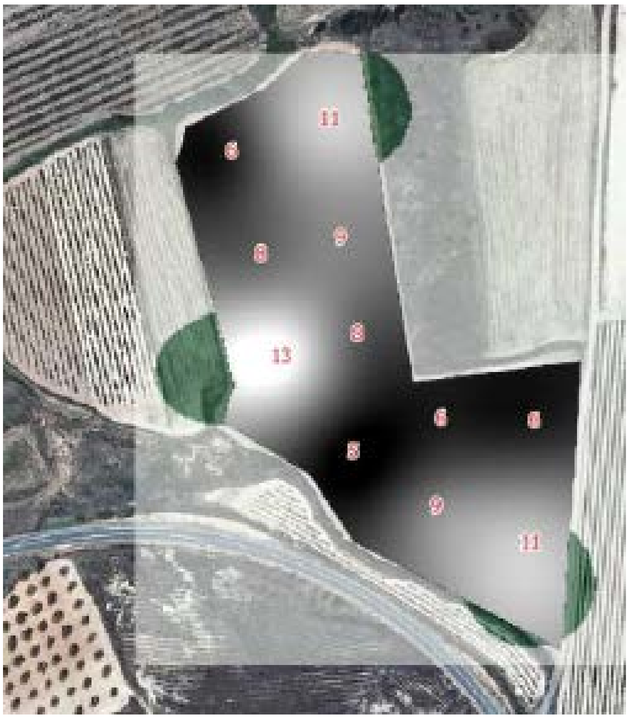


5. La capa interpolada aparece en el panel de capas. Es posible seleccionar un formato de visualización de color de la misma modificando las propiedades de la capa y aplicando un tipo de renderización u otro. Es posible elegir distintas opciones, por ejemplo, Unibanda monocolor y asignar los umbrales del atributo para diferentes clases. Por ejemplo, en el caso del potencial hídrico, se podría definir dos clases, inferior o igual a 10 y superior a 10. En bibliografía se considera que las plantas con valores de potencial superior a 10 bares comienzan a manifestar estrés hídrico.



6. Finalmente debemos recortar la capa interpolada para solamente presentar la interpolación en el perímetro de la parcela de interés. Para ello se va a emplear la herramienta Recorte (Clipper) usando la capa polígono de la parcela, anteriormente definida como máscara o molde de recorte de la capa interpolada. Hacer clic en Raster, Extracción, Clipper, en el menú superior y seleccionar la capa vectorial polígono como máscara y la capa de interpolación como capa de entrada. Renombrar la capa de salida, que será la capa recorte.





Capa interpolada recortada con la capa vectorial tipo polígono de la parcela. Es la capa recortada.

6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN Y APLICACIONES

Eduardo Sáenz de Cabezón Irigaray

El uso de lenguajes de programación integrados con sistemas de información geográfica (GIS) tiene dos utilidades fundamentales. Una es extender las capacidades del propio GIS, generando nuevas funcionalidades y la otra es que cada usuario pueda automatizar tareas de forma adaptada a sus necesidades. La extensión de las capacidades del sistema suele hacerse mediante *plugins* o extensiones que los programadores crean para uso propio o que son puestos a disposición de la comunidad. La automatización de procesos se hace mediante *scripts* o guiones de código, que el usuario escribe desde una consola que el propio GIS proporciona.

Dentro de los lenguajes de programación que podemos usar en conjunto con GIS de escritorio uno de los más adecuados es Python. Se trata de un lenguaje muy popular por su facilidad de aprendizaje en comparación con otros de similar potencia, por su popularidad y por la cantidad de bibliotecas disponibles (más de 175.000), que permiten usarlo en multitud de ámbitos, incluido el de los datos geográficos.

6.1. Introducción a Python

Existen multitud de cursos introductorios, tutoriales, etc. sobre Python. El hecho de que sea un lenguaje cuya curva de aprendizaje es suave hace que muchos cursos de introducción a la programación se basen en Python y sea utilizado por profesionales de muy distintos ámbitos sin necesidad de tener experiencia previa en programación.

A continuación, indicamos algunos de los conceptos fundamentales de programación y su implementación en Python.

Funciones artiméticas

Podemos usar Python como una calculadora. El lenguaje incluye las operaciones aritméticas básicas; merece especial cuidado la división, que puede referirse a división entera o división "real", es decir "con decimales", que en informática se codifican como números "en coma flotante". Los siguientes ejemplos ilustran el manejo de funciones aritméticas básicas:

```
>>> 2 + 2
4
>>> 50 - 5*6
20
>>> (50 - 5*6) / 4
5.0
>>> 17 / 3  # la división devuelve un número en coma flotante
5.666666666666667
>>> 17 // 3  # la división entera devuelve el cociente de la operación
5
>>> 17 % 3  # el resto de la división se obtiene mediante %
2
>>> 5 * 3 + 2  # dividendo=divisor*cociente + resto
17
>>> 5 ** 2  # podemos elevar mediante **
25
```

Variables y asignación

Una variable es un lugar de la memoria del ordenador al que asignamos un nombre y un valor. Este último puede ser modificado mediante la asignación. En cualquier momento podemos conocer el valor almacenado en ese lugar de la memoria mediante el nombre que le hemos dado. La forma de asignar un valor es el operador = que no ha de ser confundido con el operador "igualdad" que es ==

```
>>> n = 3
>>> m = 4
>>> n * m
12
>>> n + m
7
>>> n == m
False
```

Las variables pueden contener tipos de datos no numéricos, como cadenas de caracteres (strings), y tenemos también funciones para manipularlas.

```
>>> 'GIS'
'GIS'
>>> 3*'GIS'
'GISGISGIS'
>>> 'GIS'+' Python'
'GIS Python'
```

Tipos de datos compuestos

Existen tipos de datos con diversas componentes, y Python tiene mucha versatilidad y potencia en el manejo de estos tipos de datos. Uno de los más útiles son las listas.

```
>>> cuadrados = [1, 4, 9, 16, 25]
>>> cuadrados
[1, 4, 9, 16, 25]
cuadrados[0]  # podemos acceder a cada elemento de la lista por su índice (que comienzan en 0
1
>>> cuadrados[-1] # podemos acceder también al último
25

>>> cuadrados[-3:]  # o a los tres últimos, etc..
[9, 16, 25]
>>> cuadrados[3] = 64  # podemos reemplazar valores en una lista
```

La variedad de funcionalidad con los distintos tipos de listas y otros datos compuestos en Python es prácticamente inagotable. Son tipos muy versátiles que están en el centro de casi todos los algoritmos.

Bucles y control del flujo del programa

El lenguaje nos permite efectuar tareas repetitivas mediante bucles, en los que una misma acción se repite, a veces con argumentos cambiantes.

```
>>> # Bucle para la sucesión de Fibonacci
... # cada elemento es la suma de los dos anteriores. Los primeros son 1 y 1
... a, b = 1, 1
>>> while a < 10:
...     print(a)
...     a, b = b, a+b;
1
1
2
3
5
8

capitales = ['Madrid', 'Bogotá', 'Lima']
>>> for w in capitales:
...     print(w, len(w))
...
Madrid 6
Bogotá 6
Lima 4
```

Existen otras formas de implementar bucles, que serán más o menos adecuadas según nuestras necesidades.

También habrá ocasiones en las que nuestro programa ejecutará una u otra acción según la situación de las variables sea una u otra, “tomado decisiones”. Es lo que se conoce en programación como como estructura alternativa.

```
>>> x = int(input("Dame un número: "))
Dame un número: 3
>>> if x < 0:
...     print('El número es negativo')
... elif x == 0:
...     print('El número es cero')
... elif x > 0:
...     print('El número es positivo')
El número es positivo
```

Funciones definidas por el usuario

Podemos extender las funcionalidades de Python mediante la creación de nuestras propias funciones, de forma que podamos adaptar el lenguaje a nuestras necesidades. Para eso el concepto de subprograma (muchas veces llamados funciones).

```
>>> def fib(n):    # para escribir la sucesión de Fibonacci hasta n
...     a, b = 0, 1
...     while a < n:
...         print(a, end=' ')
...         a, b = b, a+b
...     print()
...
>>> # y ahora llamamos a la función que acabamos de definir:
... fib(2000)
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 377 610 987 1597
```

También podemos definir funciones que devuelvan un valor (o más) y usar ese valor en nuestros programas:

```
>>> def fib2(n):  # devuelve la sucesión de Fibonacci hasta n
...     resultado = []
...     a, b = 0, 1
...     while a < n:
...         resultado.append(a)
...         a, b = b, a+b
...     return resultado
...
>>> f100 = fib2(100)    # llamamos a la función
>>> f100                # escribimos el resultado
[0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89]
```

Tutorial de Python

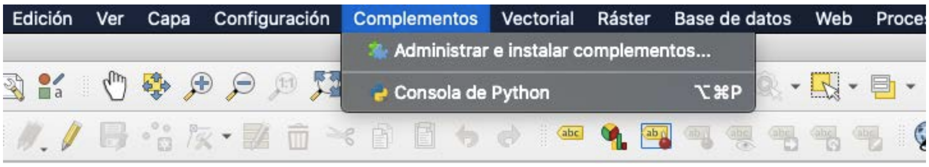
Python tiene muchísimas funcionalidades. Un tutorial muy completo puede verse en el siguiente enlace:

https://docs.python.org/3/tutorial/index.html

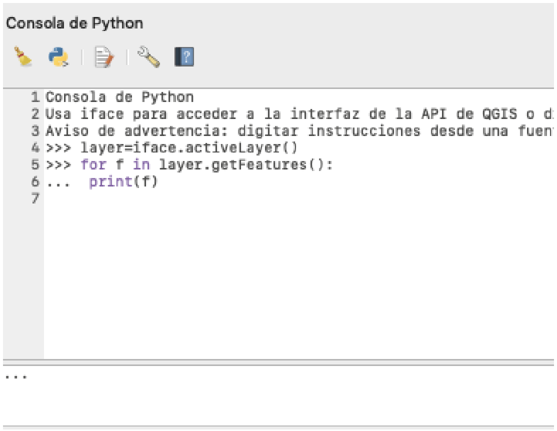
En estas páginas hemos extractado algunas cuestiones básicas de este tutorial. Para quien quiera iniciarse en el lenguaje Python el tutorial es un buen punto de partida, que será necesario para manejar con soltura las capacidades de Python integrado en un GIS.

6.2. Consola Python en QGIS

Qgis tiene incorporada una consola Python con la que podemos usar las capacidades de este lenguaje sobre los datos geográficos de nuestros proyectos. Para desplegar la consola lo haremos desde el menú **Complementos** en el ítem **Consola de Python**. Se desplegará una ventana desde la que podremos ejecutar código Python sobre los objetos de nuestro proyecto.



La consola de Python en QGIS consta de una barra de herramientas, un área para introducir comandos y un área de salida de resultados. La barra de herramientas nos permite limpiar la consola, ejecutar comandos, mostrar un editor desde el que podemos abrir, modificar e importar archivos Python; y nos da acceso a las opciones de configuración y a la ayuda.



Uno de las componentes principales para interactuar con QGIS desde Python es la variable **iface**, que nos permite acceder a las capas del proyecto. Por ejemplo, mediante la instrucción **capa=iface.activeLayer()** almacenamos en la variable capa los datos de la capa activa de nuestro proyecto. En la práctica 6.6 de programación Python en GIS podemos ver un sencillo ejemplo para exportar a un fichero de texto algunos datos de los objetos de una capa.

Desde la consola de Python podemos ejecutar código y acceder a distintas API, en concreto la que conecta Python y QGIS, llamada PyQGIS. Esta API nos permite directamente desde código en la consola Python añadir capas a nuestro proyecto, eliminarlas, automatizar tareas como listar el número de elementos de una capa, crear geometrías, exportar a PDF, realizar tareas de geoprocesamiento, añadir y borrar elementos de capas y tablas, etc. Un resumen de las funcionalidades de PyQGIS puede encontrarse en el siguiente enlace:

https://github.com/All4Gis/QGIS-cheat-sheet/blob/master/QGIS3.md

6.3. Bibliotecas Python para datos geográficos

Una de las principales características de Python es que dispone de miles de bibliotecas de funciones para las más variadas utilidades. En concreto, existen varias bibliotecas especializadas en el manejo de datos geográficos. A modo de ejemplo, dos de las más usadas son Rasterio y Shapely.

Rasterio

Rasterio es una biblioteca Python para manejar capas ráster. Se basa en el traductor de formatos raster GDAL (también usado por QGIS). Es de código libre, gratuita y puede instalarse siguiendo las instrucciones que aparecen en su página web:

https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/installation.html

Una vez instalada, desde la consola Python podemos cargar la librería y comenzar a usar sus funcionalidades.

```
>>> import rasterio
```

Rasterio nos permite manejar la información de capas ráster que por sus características pueden resultar pesadas desde el interfaz gráfico. Mediante las funciones de Rasterio tenemos acceso preciso a los datos de la capa, que podemos leer, modificar, y añadir nueva información a la capa aprovechando toda la funcionalidad de Python. Una breve guía introductoria se encuentra en su página web.

https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/quickstart.html

Shapely

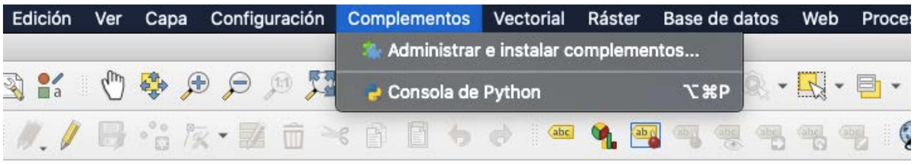
Shapely nos permite realizar operaciones sobre información geométrica en un contexto de datos geográficos. Nos permite manejar información de capas vectoriales como puntos, líneas y polígonos. Desde funciones sencillas como el cálculo de áreas o distancias a algoritmos más sofisticados como triangulaciones de Delaunay u otros, las funcionalidades de Shapely son muchas.

Información sobre esta biblioteca y una manual de instalación y uso pueden encontrarse en su página web: https://shapely.readthedocs.io/en/stable/manual.html

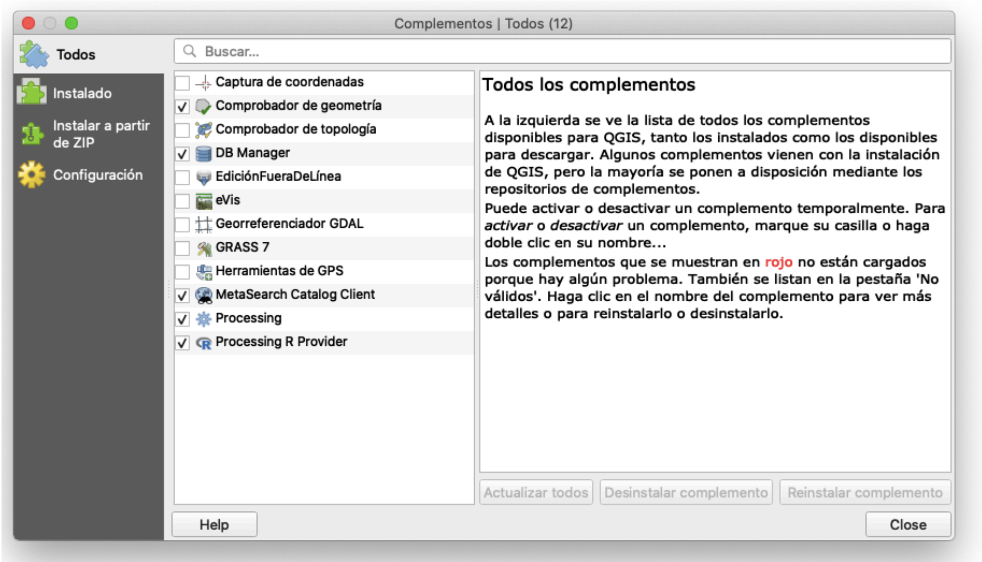
6.4. Importación y lanzamiento de plugins de terceros

La principal forma de extender las capacidades de QGIS es mediante plugins o complementos, desarrollados por nosotros mismos o por terceras personas. Los plugins son programas escritos en Python o C++ que podemos incorporar en QGIS y usarlos como si fueran una función más del sistema.

La gestión de los plugins en QGIS se hace desde el menú **Complementos**, en el ítem **Administrar e instalar complementos**.



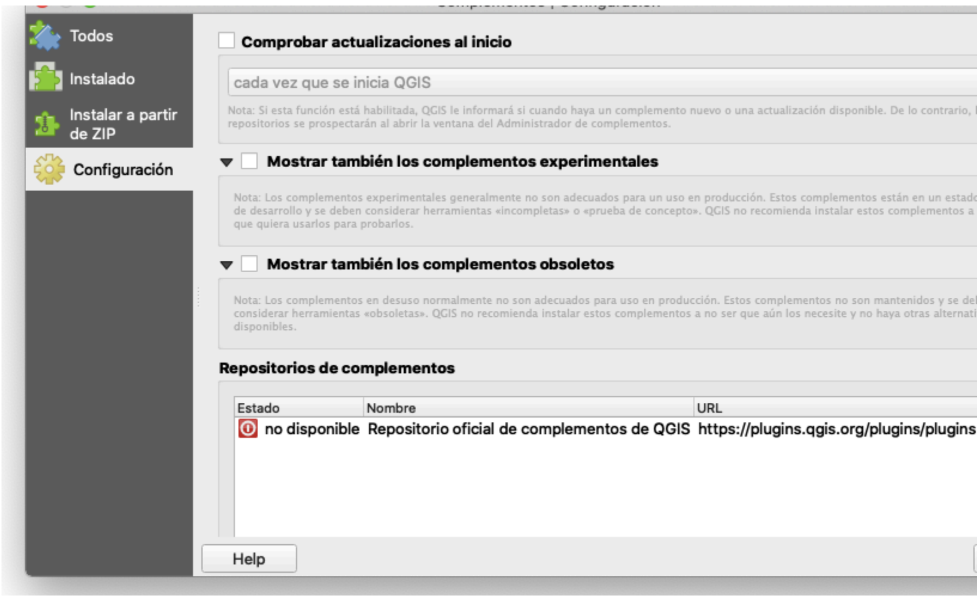
Este item despliega un cuadro desde el que tenemos varias opciones.



Por un lado está la lista de todos los complementos disponibles para QGIS, tanto los instalados como los disponibles para descargar. Algunos complementos ya vienen incluidos en la instalación de QGIS, pero la mayoría se ponen a disposición mediante los repositorios de complementos, en los que los autores pueden incluir sus propios plugins. Podemos activar o desactivar un complemento temporalmente mediante su nombre. Una lista completa de los plugins de QGIS accesible directamente desde la web, con descripciones de los mismos se encuentra en

https://plugins.qgis.org/plugins/

En la pestaña de **Configuración** del cuadro de diálogo de complementos podemos gestionar los orígenes de complementos y algunos aspectos de su instalación.



Podemos por ejemplo marcar la casilla **Comprobar actualizaciones al inicio** que verificará, cada vez que iniciemos QGIS si hay complementos nuevos o si hay actualizaciones disponibles para alguno de los plugins que tenemos instalados en el sistema. La casilla **Mostrar complementos experimentales** nos permite tener acceso para instalar complementos que están en desarrollo pero que ya podríamos usar experimentalmente dentro de nuestro sistema. Del mismo modo, tenemos una casilla para **Mostrar complementos obsoletos**, que ya no están en mantenimiento. Finalmente, podemos editar la lista de repositorios desde donde QGIS carga los complementos disponibles. Inicialmente, QGIS tiene en esta lista solamente el repositorio oficial de QGIS que es donde están alojados los complementos que tenemos disponibles para su instalación. QGIS carga la lista de ese repositorio y en el momento en que decidimos instalar alguno, se conecta con el repositorio y lo carga e instala desde él. Pero otros desarrolladores de plugins o complementos ponen a disposición de los usuarios sus propios repositorios para facilitar la instalación de complementos, y nosotros mismos podemos crear nuestro repositorio.

Dentro de la documentación de QGIS existe un apartado sobre la creación e importación de plugins. Podemos encontrar enlaces a los repositorios de plugins, información sobre la gestión de plugins desde QGIS e información para desarrolladores:

https://plugins.qgis.org/

6.5. Bibliotecas R para datos geográficos y su integración con GIS

Además de con Python, podemos integrar QGIS con el potente software estadístico y de tratamiento de datos y gráficos R. El enlace puede ser en un doble sentido. Por un lado, podemos llamar desde R a las funcionalidades de QGIS y aprovechar el tratamiento de datos de tipo geográfico de QGIS en el entorno de trabajo de R, y por otro lado podemos invocar la funcionalidad de R desde QGIS.

Integración de QGIS en R

Una vía de integrar QGIS dentro de R es usar un paquete de R que permite llamadas a QGIS (y los componentes de QGIS: GDAL, SAGA y GRASS. EL paquete RQGIS permite esta integración y se encuentra en la siguiente página:

https://cran.r-project.org/web/packages/RQGIS/index.html

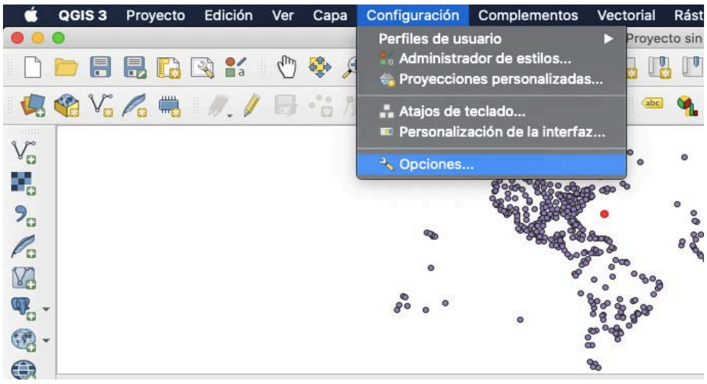
RQGIS establece un interfaz entre R y QGIS permitiendo acceder a QGIS desde la consola de R. El modo de hacerlo es mediante la API Python de QGIS, lo cual permite extender la potencialidad de R mediante las funciones de QGIS.

El manual de RQGIS puede encontrarse en la siguiente página:

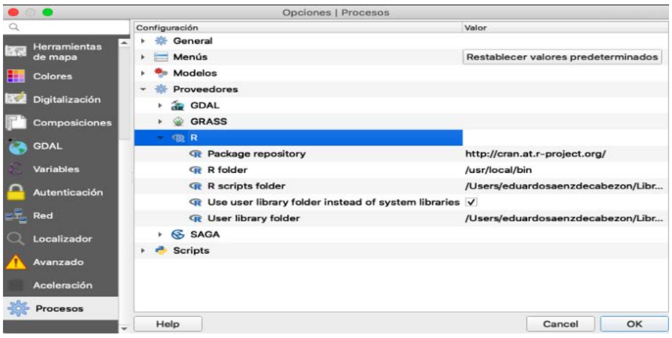
https://cran.r-project.org/web/packages/RQGIS/RQGIS.pdf

Integración de R en QGIS

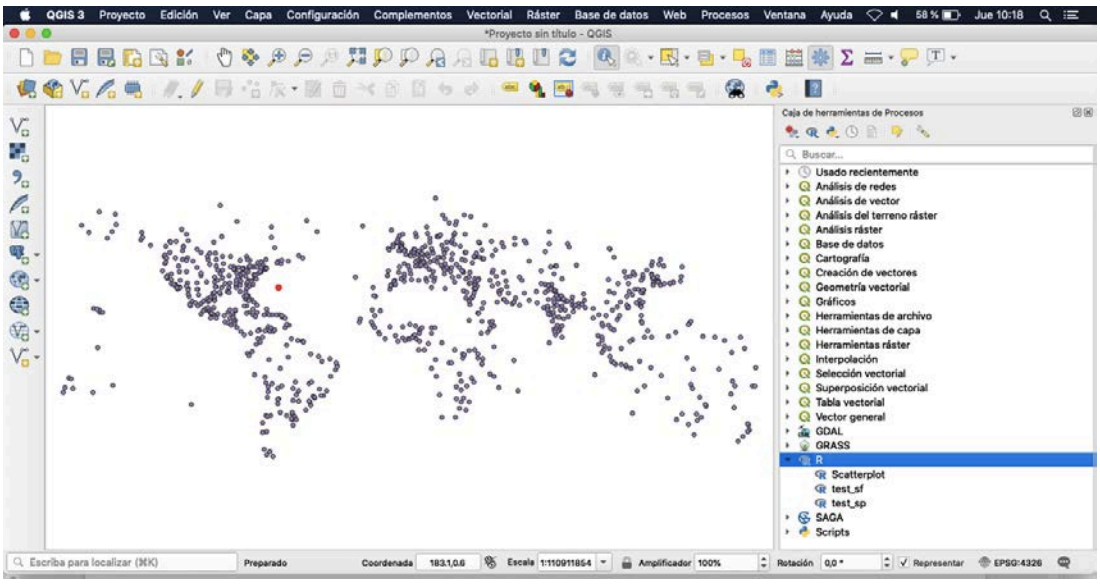
Para utilizar la funcionalidad de R dentro de QGIS podemos recurrir al plugin denominado **Processing R Provider** dentro de los complementos de QGIS. La forma de activar esta funcionalidad es sencilla: una vez instalado el plugin dese el menú Complementos en el ítem **Administrar e instalar complementos**, acudimos al menú **Configuración** y en el ítem **Opciones** acudimos a la pestaña **Procesos**.



Ahí desplegamos la lista Proveedores y al desplegar la lista **R** podemos activarlo.



A partir de ahí, tendremos los algoritmos de R disponibles desde la **Caja de Herramientas** de QGIS, que podemos ver desde el menú **Procesos**.



Con esta activación tenemos disponibles directamente desde QGIS algunos algoritmos de R que pueden ayudarnos en el análisis estadístico de los datos geográficos con los que trabajamos.



Otra forma de llamar a la funcionalidad de R desde QGIS es hacerlo desde la consola Python de QGIS. Python y R tienen distintos mecanismos para conectarse. Uno de ellos es la biblioteca rpy2, de este modo podemos usar la funcionalidad de R desde el lenguaje de programación Python integrado en QGIS.

6.6. Práctica con QGIS

QGIS nos da acceso a una consola Python desde la que poder ejecutar e implementar scripts que permitan mayor control sobre nuestros datos y mayor libertad de operación con ellos. En esta práctica vamos a tomar contacto con esta consola para ejecutar sencillos programas de exploración de las propiedades de nuestros datos.

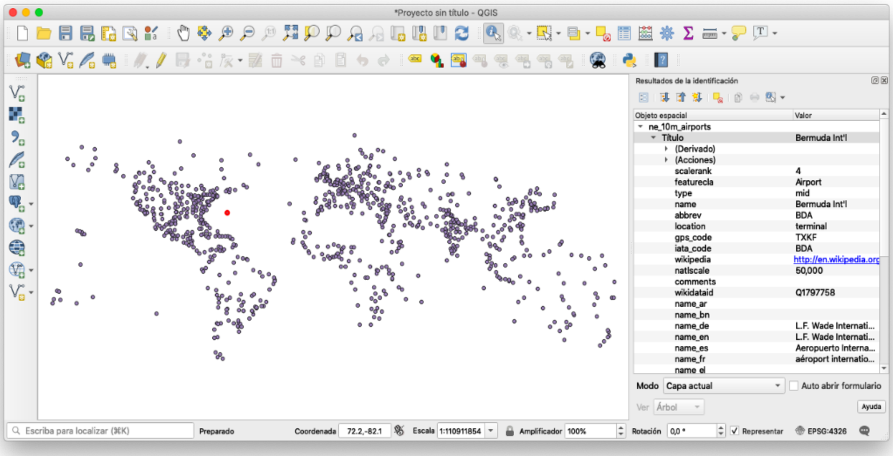
El primer proceso que vamos a hacer está adaptado de

https://www.qgistutorials.com/en/docs/getting_started_with_pyqgis.html

Trabajo preparatorio

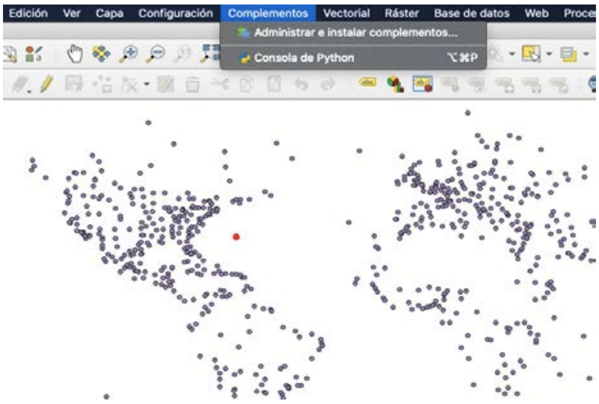
1. Preparamos el proyecto para trabajar y obtenemos los datos geográficos que necesitamos.
2. En el siguiente enlace obtenemos los datos de los aeropuertos del mundo.

   http://www.naturalearthdata.com/downloads/10m-cultural-vectors/airports/
3. Importamos los datos en QGIS desde importar capa CSV. ¿Qué tipo de capa es? Editamos sus propiedades para que la visualización esté a nuestro gusto.
4. Desde la herramienta de identificación podemos ver los datos de cada uno de los aeropuertos haciendo clic sobre él.



Consola de Python en QGIS. Primer contacto

1. Para manejar nuestros datos por medio de Python vamos a abrir la consola de Python que está incorporada en QGIS. Para ello vamos a Complementos → Consola de Python (en inglés Plugins → Python Console)



a) Para interactuar con el entorno de QGIS tenemos una variable iface, que es una instancia de QgsInterface. Este interfaz nos permite el acceso a los mapas, menús, herramientas, etc. de QGIS. Generamos una variable que nos permita interactuar con la capa activa, para lo cual ejecutamos desde el prompt de la consola:

   layer = iface.activeLayer()

b) Podemos acceder a los métodos de nuestra variable layer mediante

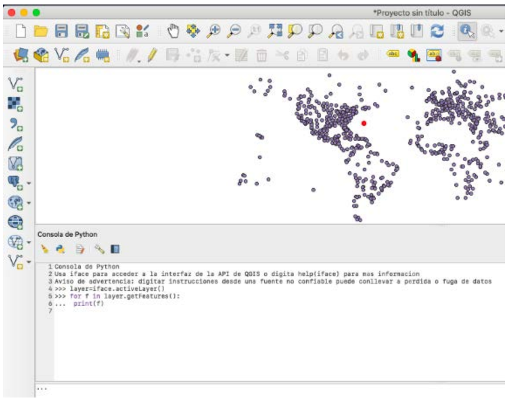
```
dir(layer)
```

c) Un método interesante es getFeatures() que nos da referencias a todos los elementos de una capa, en este caso, los puntos que representan aeropuertos.

```
        for f in layer.getFeatures():
print(f)
```

d) Las propiedades se almacenan en un array a cuyos elementos podemos acceder:

```
for f in layer.getFeatures():
        print(f['name'],f['iata_code'])
```



2. Además de a los atributos de los elementos de la capa, podemos acceder también a sus características geográficas.

a) Para acceder a las características geográficas de un elemento, como por ejemplo sus coordendas, usamos el método geometry() que devuelve un objeto geométrico del que podemos obtener las coordenadas x e y mediante asPoint()(en el caso de una capa de puntos). En el caso de capas de polilíneas y polígonos tenemos las funciones asPolyline()y asPolygon(). Si sólo quisiéramos una de las coordenadas podemos usar p.ej. geom.asPoint().x()

```
for f in
   layer.getFeatures():
   geom = f.geometry()
   print(geom.asPoint())
```

b) El siguiente código nos proporciona en un formato legible los datos de nombre, código y coordenadas de los aeropuertos, uniendo atributos y propiedades geográficas de los mismos:

```
for f in
   layer.getFeatures():
   geom = f.geometry()
   print(str(f['name'])+ "("+str(f['iata_code'])+"), coordenadas:
   ("+str(geom.asPoint().x())+" , "+str(geom.asPoint().y())+")")
```

c) Finalmente, podemos escribir los datos en un fichero de texto que podamos usar con más comodidad (deberemos escribir la ruta del fichero acorde al lugar de nuestro sistema donde queramos almacenarlo):

```
output_file=open('/Users/eduardosaenzdecabezon/Downloads/airports.
txt', 'w',encoding='utf-8')
for f in layer.getFeatures():
geom = f.geometry()
line=str(f['name'])+ "("+str(f['iata_code'])
  +"),coordenadas:
```

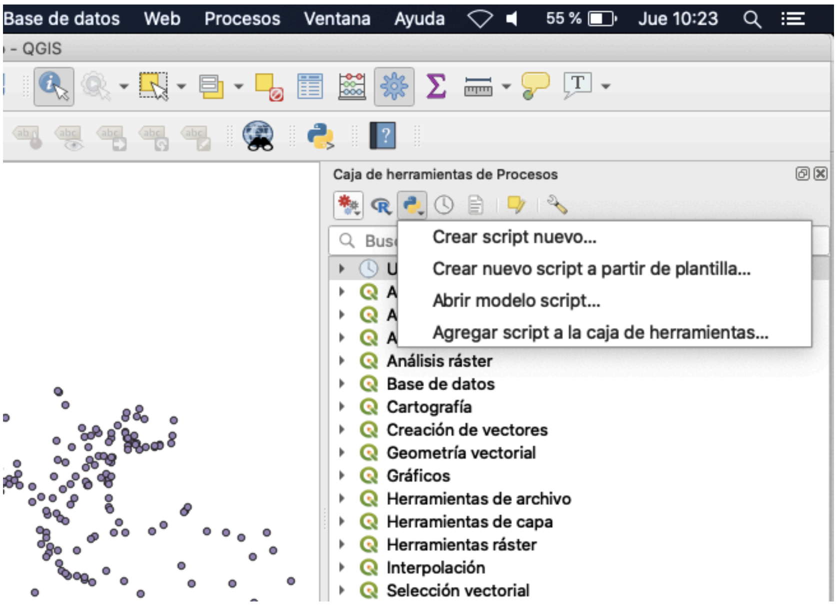
```
("+str(geom.asPoint().x())+" ,
"+str(geom.asPoint().y())+")"+"\n"
output_file.write(line)
output_file.close()
```

Escribir Scripts de Python en QGIS

QGIS nos permite generar nuestros propios scripts de Python que después podremos ejecutar desde el entorno. Vamos a tomar contacto con esta herramienta de QGIS realizando un pequeño script.

La documentación de QGIS contiene una pequeña introducción y algunos ejemplos que podemos instalar: https://docs.qgis.org/2.6/en/docs/user_manual/processing/scripts.html

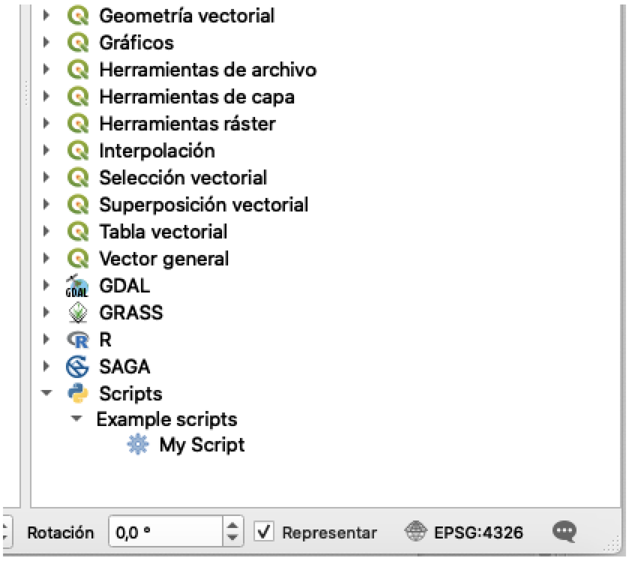
Para tener acceso a la herramienta de generación de scripts, expandimos la caja de herramientas desde el menú Procesos. En la caja de herramientas, pulsando sobre el icono de Python nos aparece una lista de opciones. De entre ellas, elegimos "Crear nuevo script a partir de plantilla", que despliega una plantilla para crear el script.



La plantilla contiene el código necesario para comunicarse con QGIS, ser capaz de enviar y recibir datos y establecer un interfaz entre la aplicación y nuestro script.

Para generar nuestro script lo que haremos será modificar el código de esta plantilla para generar nuestro propio script. Siguiendo las instrucciones del siguiente tutorial recorremos el proceso de modificación de la plantilla de scripts para generar y ejecutar nuestro propio script. https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/processing_python_scripts.html

Una vez generado nuestro script podremos acceder a él desde la la caja de herramientas de procesos, en la lista desplegable Scripts. Por ejemplo, así accederíamos a nuestro script llamado


Geometría vectorial
Gráficos
Herramientas de archivo
Herramientas de capa
Herramientas ráster
Interpolación
Selección vectorial
Superposición vectorial
Tabla vectorial
Vector general
GDAL
GRASS
R
SAGA
Scripts
Example scripts
My Script
Rotación
0,0 °
Representar
EPSG:4326

7 LIBRERÍAS (APIS) PARA LA CREACIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL

Jesús María Aransay Azofra

7.1. Introducción

Más allá de la utilización de Sistemas de Información Geográfica, otro ámbito donde el uso de cartografía digital se ha hecho ampliamente popular es en Internet, tanto para la visualización de cartografía en páginas web como en aplicaciones de dispositivos móviles. Algunos ejemplos de este tipo de uso incluyen aplicaciones como la del propio catastro (http://www.catastro.meh.es/), los Sistemas de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) de las distintas comunidades autónomas (http://sigpac.mapa.es, http://sigpac.larioja.org/visor/), o las aplicaciones web de servicios de geolocalización o de cálculo de rutas.

Desde un punto de vista conceptual, este tipo de aplicación no supone cambios con respecto a lo presentado hasta ahora en este volumen (la definición de un mapa vendrá dada por un "fondo base" sobre el cual podremos ir añadiendo capas de información). Desde un punto de vista técnico, cómo generamos este mapa sí que tendrá connotaciones propias del contexto en el que nos encontramos.

Por lo general, la definición del mapa vendrá dada en forma de un breve fragmento de código (script) en algún lenguaje de programación para la web (como Javascript) en el que invocaremos a un servicio externo de cartografía (por ejemplo, IDERioja o OpenStreetMap) que nos facilitará el fondo base y las capas que iremos generando sobre el mismo. Además de las capas que nos facilitan los anteriores servicios, también podremos añadir algunos otros tipos de capas, siempre y cuando estén soportados por la librería que nos encontremos usando (por ejemplo, capas en formato GPX, GeoJSON o KML) y las capas estén disponibles como un recurso de acceso público a través de Internet.

En la Sección 7.2 vamos a enumerar las principales librerías de acceso a cartografía web que existen en la actualidad, comparando sus principales características (por lo general, nos decantaremos por aquellas que sean de código abierto y de uso gratuito). En la Sección 7.3 ilustraremos el uso de las librerías elegidas en la sección anterior por medio de algunos ejemplos para generar mapas para la web que deberían servir para que los lectores puedan crear sus propios mapas.

7.2. Algunas APIs de uso extendido

Antes de poder hablar de las APIs de uso más extendido, debemos distinguir entre dos tipos de servicios. Por una parte, están los servicios de cartografía web. Estos servicios permiten que podamos ver cartografía en la web, pero no siempre van a permitir que podamos crear nuestra propia cartografía a partir de ellos. Entre estos servicios podríamos citar algunos de uso tan extendido como OpenStreetMap, las páginas web de los servicios autonómicos o nacional del SIGPAC, la página web del Catastro, o la web de Google Maps. Por otra parte, están los servicios que nos permiten hacer uso de sus mapas o capas de datos para generar nuestra propia cartografía.

Este segundo tipo de servicios generalmente son usados a través de librerías (APIs) en algún lenguaje de programación concreto. De hecho, también cabe la posibilidad de que haya librerías (como Leaflet o la API de IDERioja) que nos permitan utilizar los recursos cartográficos de OpenStreetMap o de la Comunidad Autónoma de La Rioja para generar nuestros propios mapas. En esta sección nos vamos a centrar en las librerías que nos permiten generar nuestros propios recursos cartográficos, que después podremos hacer disponibles a través de nuestro sitio web o nuestras aplicaciones móviles.

Las librerías más populares y de uso más extendido en nuestro entorno son las siguientes:

- API IDERioja: https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/
- Leaflet: https://leafletjs.com/
- Google Maps Javascript API: https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/tutorial

Pasamos a hacer una breve comparación de sus principales características.

La API de IDERioja es un producto de código abierto y además de uso gratuito. En la actualidad, permite hacer uso de los siguientes recursos cartográficos:

- Como fondo base, permite usar (información extraída de https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/fondo_base/) el mapa base de IDERioja, el fondo de ortofotos de IDERioja, el mapa de relieve de IDERIoja, el mapa base del Instituto Geográfico Nacional, la ortografía aérea de PNOA, el fondo standard de OpenStreetMap, los fondos "claro" y "oscuro" de CartoDB y un fondo blanco.
- Como capas adicionales, permite incluir capas en los formatos GeoJSON, KML y GPX.
- También permite añadir ciertas consultas generadas por el propio servicio IDERioja (hay una lista detallada en el siguiente enlace: https://www.iderioja.larioja.org/index.php?id=30&lang=es).

La librería está escrita y debe ser usada con Javascript, aunque el nivel de conocimiento que requiere de este lenguaje es bastante básico. De hecho, la librería está basada en Leaflet (librería también en JavaScript que presentamos más adelante) y está orientada al uso de la geo-información contenida en la Base de Datos Geográfica del Gobierno de La Rioja (aunque, como

hemos visto en los fondos base y en las capas adicionales, permite también hacer uso de recursos e información externos).

Como algunas funcionalidades adicionales permite centrar un mapa en unas coordenadas determinadas, definir diferentes niveles de zoom, añadir marcadores, etc. En la Sección 7.3, por medio de ejemplos, ilustraremos algunas de estas funcionalidades.

Leaflet es la librería de código abierto de uso más extendido para generar cartografía para sitios web o dispositivos móviles. Está escrita y debe ser usada en JavaScript (como la API de IDERIoja, que como hemos mencionado está basada en Leaflet). Permite hacer uso de los siguientes recursos cartográficos:

- Como fondo base, por defecto la librería hace uso del servicio de "tiles" de OpenStreetMap, pero la librería como tal es "agnóstica" con respecto a la cartografía que usa, siempre y cuando la misma disponga de un servicio de "tiles" (esto abre la puerta a que se puedan usar capas de "tiles" de otros servicios, como CartoDB, IDERioja, o algunos de los mencionados en el siguiente enlace: https://leafletjs.com/plugins.html#basemap-providers) o de "Web Map Services" (WMS). Es interesante notar que ciertos servicios de "tiles" o de "WMS" pueden requerir de atribución de uso o de cierto tipo de autenticación.
- Sobre los anteriores fondos base permite cargar capas en formato GeoJSON, definir nuestras propias capas vectoriales (para generar líneas, polígonos, etc.) o también cargar "nubes de puntos" almacenados en algún otro servicio de geolocalización.

Más allá de las anteriores funcionalidades básicas, Leaflet (y otros plugins y librerías desarrolladas para este sistema) ofrece una cantidad de opciones innumerable (generación de "mapas de calor", de visualización de datos, representación de datos temporales, posibilidades de dibujo sobre mapas...). En la Sección 7.3 presentaremos algún ejemplo básico de uso de la misma, aunque recomendamos al lector interesado que se dirija a la documentación de la herramienta para consultar otros posibles usos no enumerados aquí (https://leafletjs.com/).

La tercera librería cuyo uso está ampliamente extendido es la API JavaScript de Google Maps. A diferencia de las anteriores, esta librería no es de código abierto, ni su uso es gratuito. Su facilidad de uso, su acceso a la cartografía de servicios como Google Maps o Google Earth y su posibilidad de integración con otros servicios de Google (acceso a información de tráfico, cálculo de rutas, etc.) han hecho que su uso esté muy extendido. Hasta donde nosotros hemos podido comprobar, y a diferencia de los anteriores servicios, solo permite el uso de cartografía o fondos base propia de Google (aunque sí permite a los usuarios "dibujar" elementos propios sobre los mapas o añadir capas en otros formatos por medio de datos externos o propios del usuario). Al ser una librería de uso no gratuito, no la incluimos en los ejemplos de uso que presentamos en la Sección 7.3

7.3. Ejemplos de uso. API de IDERIoja

En estas dos secciones vamos a ilustrar algunos ejemplos de uso de la API JavaScript de IDERioja (Sección 7.3) y de Leaflet (7.4). Haremos todos los ejemplos pensando en su visualización en un

navegador web, pero es interesante recordar que ambas librerías pueden ser usadas también para generar mapas para dispositivos móviles.

Mapa base.

Creamos un fichero de nombre “mapabase.htm” con un editor de textos (como el bloc de notas o Notepad++). En el mismo incluimos el siguiente contenido:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head lang="es">
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0, maximum-scale=1.0, user-scalable=no" />
    <title>Ejemplo de configuración API IDErioja</title>
    <style>
      body, html{
        height: 100%;
        border: 0;
        padding: 0;
        margin: 0;
      }
      #map{
        width: 100%;
        height: 100%;
      }
    </style>
  </head>
  <body>
    <div id="map"></div>
  </body>
  <script>
    var iderioja_config = {



    }
  </script>
  <script src="https://apigeo.larioja.org/v1/iderioja.js"></script>
</html>
```

Para los lectores que conozcan los fundamentos de html y css, el anterior fragmento de código solo define una página web con un bloque de nombre “map” que ocupa toda la ventana del navegador. El resto es un fragmento de JavaScript donde se define una variable de nombre “iderioja_config” a la que, por el momento, no asignamos ningún valor.

Si ahora abrimos el anterior fichero con un navegador web (Figura 7.1), deberíamos ser capaces de ver un mapa de La Rioja con cartografía básica de IDERioja (y adicional de otros servicios como el IGN o OpenStreetMap). Creamos un fichero de nombre “mapabase.htm” con un editor de textos (como el bloc de notas o Notepad++).

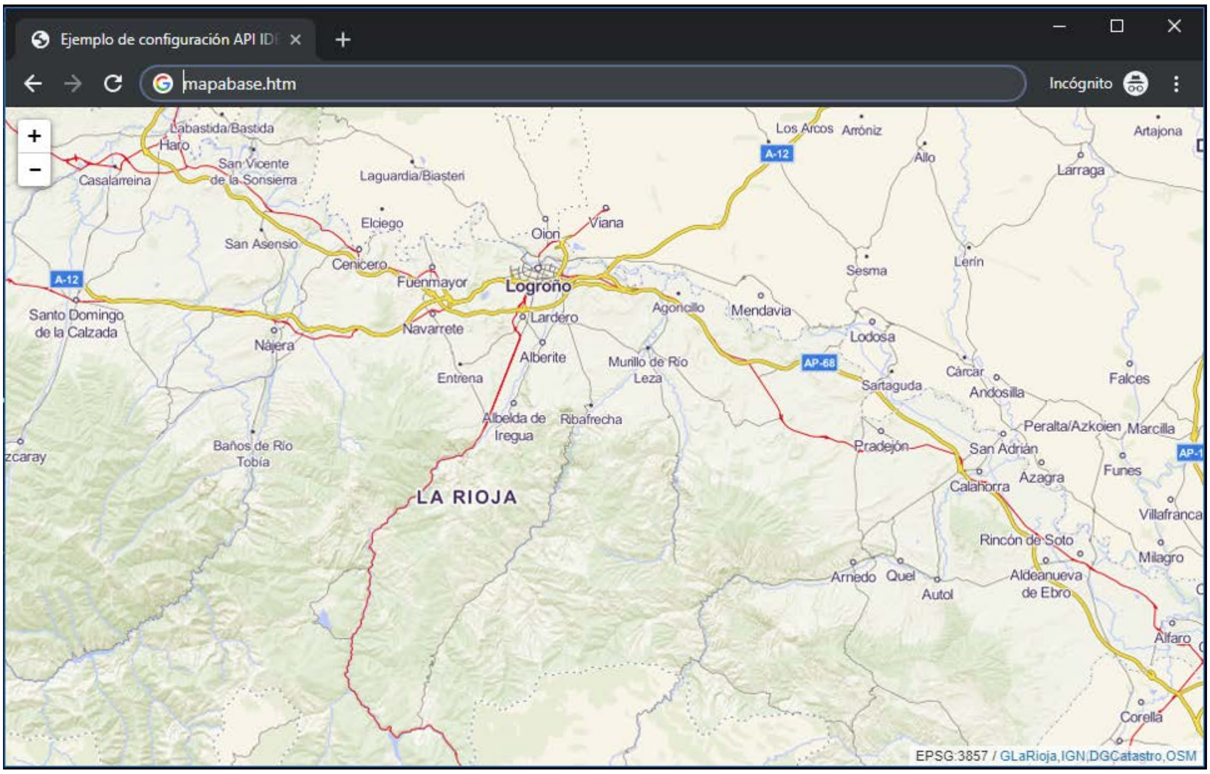


Figura 7.1. Mapa base con la API de IDERioja.

Para ver cómo podemos modificar algunas de las propiedades del mapa, lo que vamos a hacer es ir asignando, dentro del bloque (y la variable) “iderioja_config”, ciertos pares (separados por comas):

```
"propiedad01" : "valor",
"propiedad02" : "valor",
...
```

Entre las propiedades que podemos elegir, comenzamos por el “fondo_base” (https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/fondo_base/). Para dicha propiedad asignamos uno de los valores disponibles en el enlace anterior:

```
var iderioja_config = {
    "fondo_base" : "pnoa-ortofoto",
}
```

Si recargamos la página web en el navegador, deberíamos ver (Figura 7.2) cómo ha cambiado el fondo del mapa para pasar a ser un fondo de ortofotos facilitado por el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del Instituto Geográfico Nacional. Cambiando el valor de esta propiedad podríamos pasar a alguno de los otros fondos disponibles.

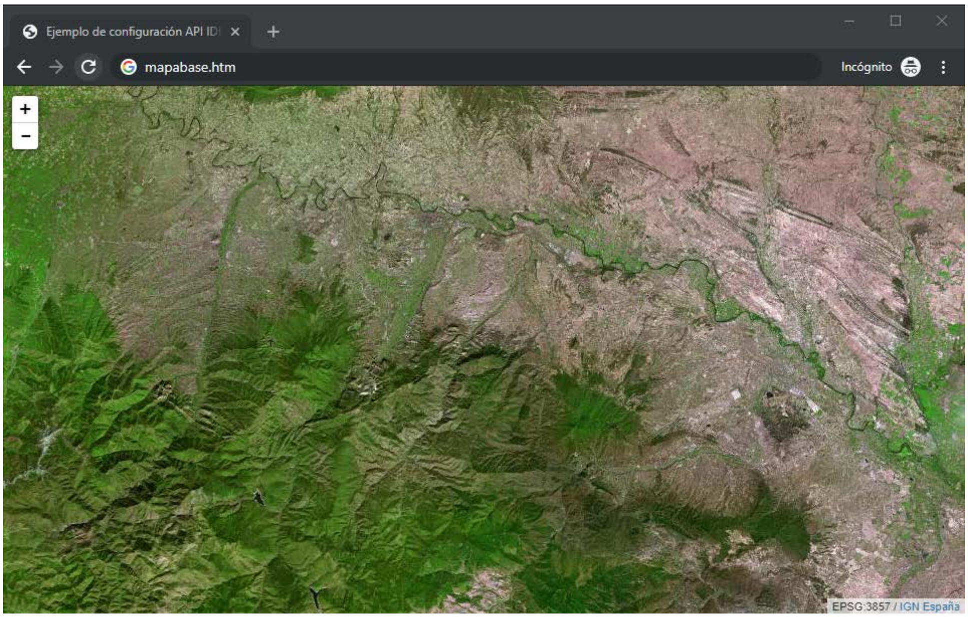


Figura 7.2. Mapa base con la API de IDERioja con selección de fondo.

De igual modo, vamos a añadir propiedades adicionales (dentro de las que aparecen bajo la pestaña “Opciones” en https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/) al mapa generado hasta ahora. Si ahora añadimos la propiedad “selector_capas” con valor 1:

```
var iderioja_config = {

  "fondo_base" : "pnoa-ortofoto",
  "selector_capas" : 1,

}
```

Al recargar nuestra página web deberíamos ver (Figura 7.3) cómo en la esquina superior derecha de la misma nos aparece un selector de los fondos base disponibles (y donde también podremos seleccionar las futuras capas que añadiremos sobre el mapa).

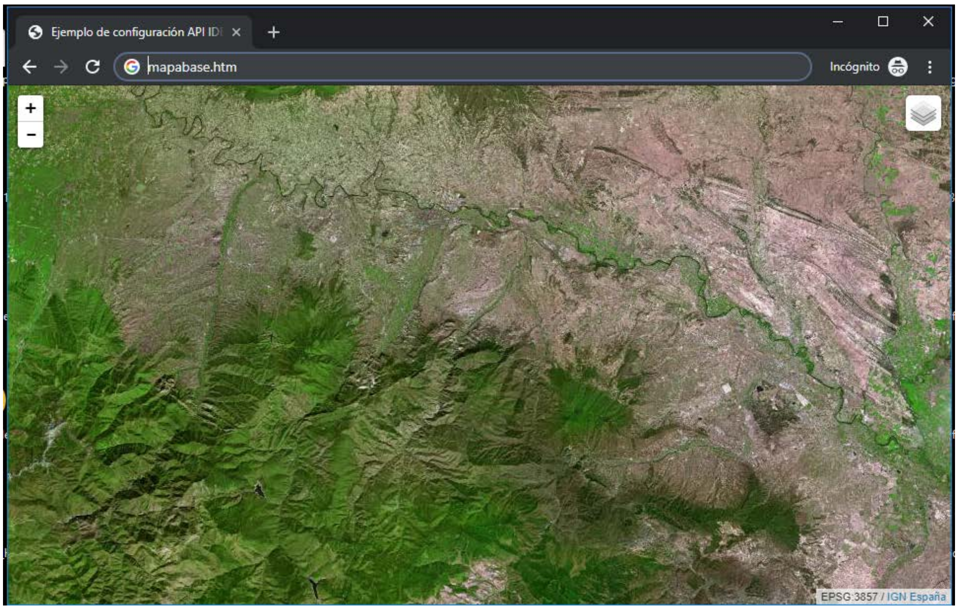


Figura 7.3. Mapa base con la API de IDERioja con selector de capas.

Entre otras propiedades adicionales, se pueden fijar también las coordenadas del centrado inicial del mapa (https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/init_lat-init_lng/), el nivel de "zoom" inicial con que se va a mostrar el mismo (https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/zoom_inicial/) o, por ejemplo, si queremos que sobre el mapa aparezca una escala gráfica.

Por ejemplo, con lo visto hasta ahora, podríamos definir el siguiente mapa (ver Figura 8.4):

```
var iderioja_config = {

    "fondo_base" : "pnoa-ortofoto",
    "selector_capas": 1,
    "init_lat": 40.4169473,
    "init_lng": -3.7035285,
    "zoom_inicial": 16,
    "escala": 1,

}
```

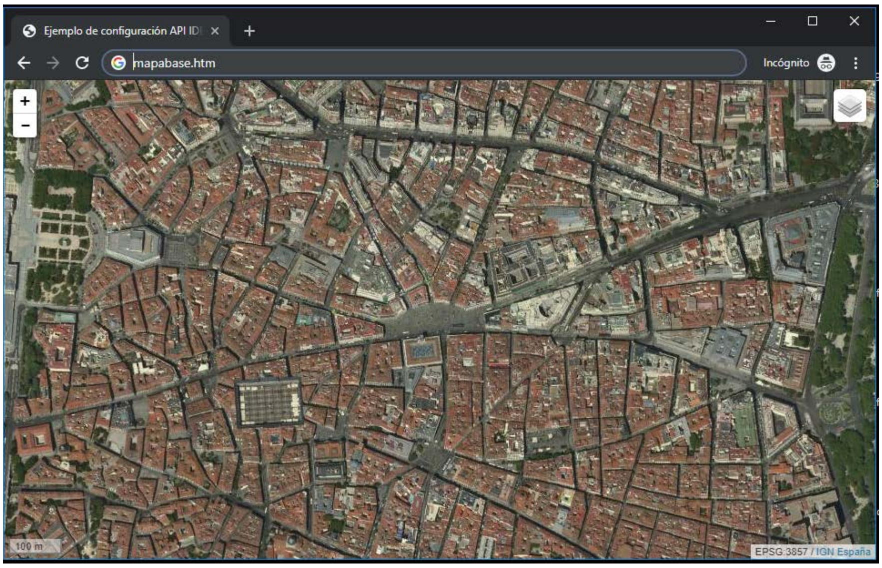


Figura 7.4. Mapa base con la API de IDERioja y opciones adicionales.

Además de definir un fondo base y sobre el mismo configurar ciertas opciones, también podemos cargar capas de información en los formatos GeoJSON, KML y GPX. Las capas que deseemos usar deberían estar disponibles a través de un enlace (o URL) público, o ser almacenadas en el mismo directorio que nuestra página web (en este caso, el fichero mapabase.htm).

Veamos un ejemplo de cómo se puede cargar una capa en formato GeoJSON. En primer lugar, eliminamos algunas opciones que dejan de ser relevantes (al cargar una capa, por defecto el mapa se centra sobre los elementos enumerados en esa capa y con el nivel de zoom que permita visualizar todos de manera simultánea):

```
var iderioja_config = {

    "fondo_base" : "pnoa-ortofoto",
    "selector_capas": 1,

}
```

Comprobamos ahora cómo se puede configurar la opción para incluir una capa GeoJSON (https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/capa_geojson/) así como el formato del fichero que define la capa que vamos a cargar. En este caso, el fichero GeoJSON corresponde con a un fichero con datos sobre los recursos de la Comunidad Autónoma de La Rioja para la lucha contra incendios:

https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/datos_ejemplo/medios_lucha_contra_incendios_forestales.geojson

Generamos ahora el mapa con la capa adicional por medio de la siguiente definición de la variable "iderioja_config":

```
var iderioja_config = {

 "fondo_base" : "pnoa-ortofoto",
 "selector_capas": 1,
 "capa_geojson": [
    { "nombre": "Medios contra incendios forestales",
      "url":
"https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/d
atos_ejemplo/medios_lucha_contra_incendios_forestales.geojson"
    }
 ],

}
```

La página web ahora debería mostrarse como se ve en la Figura 7.5:

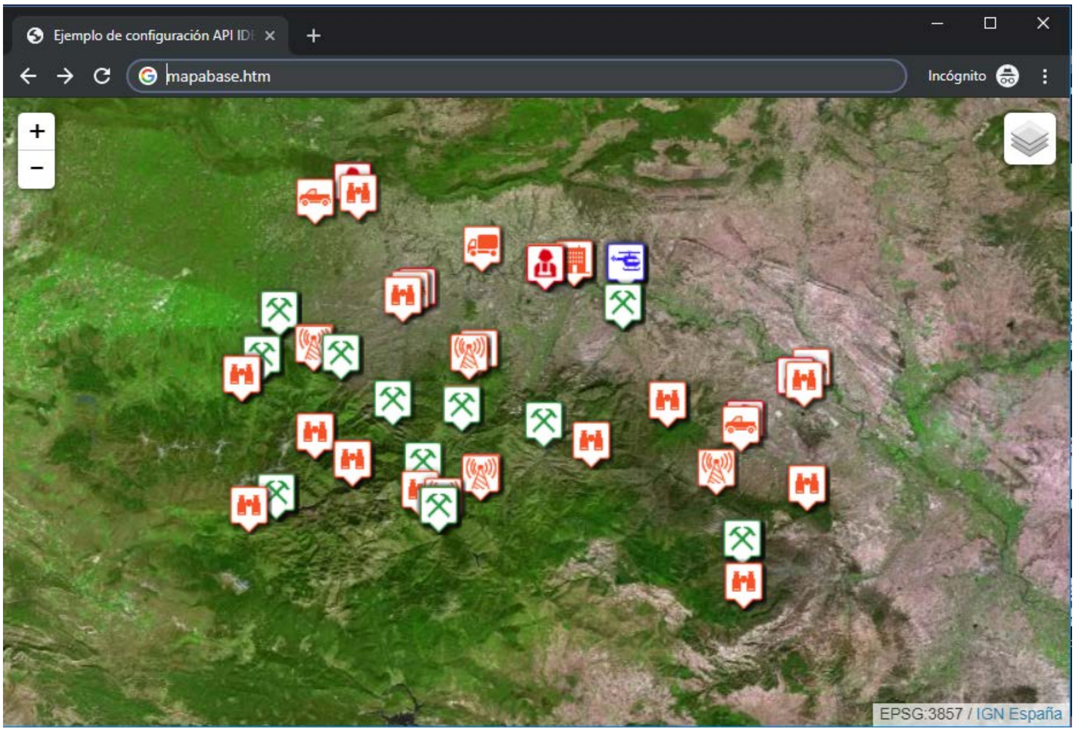


Figura 7.5. Mapa base con la API de IDERioja y capa en formato GeoJSON.

Es interesante observar que hemos añadido la capa en formato GeoJSON siguiendo el mismo formato usado hasta ahora de parejas de elementos:

```
"propiedad": "valor"
```

Donde la propiedad asignada ahora ha sido "capa_geojson" y el valor que toma es un vector (de ahí el uso de "[…]") de capas GeoJSON, que en este caso es un único elemento:

```
{
"nombre": "Medios contra incendios forestales",
"url":
"https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/d
atos_ejemplo/medios_lucha_contra_incendios_forestales.geojson"
}
```

Si disponemos de varias capas GeoJSON que deseemos cargar sobre nuestro mapa, podremos añadirlas dentro del vector siguiendo la sintaxis:

```
"capa_geojson": [ capa01, capa02, capa03, ...]
```

Donde cada capa deberá tener una estructura similar a la de la anterior capa "Medios contra incendios forestales".

De forma muy similar a la anterior capa en formato GeoJSON podemos cargar sobre nuestro fondo base capas en formato GPX:

```
var iderioja_config = {

"fondo_base" : "pnoa-ortofoto",
"selector_capas": 1,
"capa_gpx": [
  {
   "nombre": "Ruta GPS Achichuelo Nuevo",
   "url":
"https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/d
atos_ejemplo/ruta_gps_achichuelo_nuevo.gpx"
  }
]

}
```

Podemos ver el resultado (con la capa GPX mostrada como una línea naranja que representa la ruta del Achichuelo) en la Figura 7.6:

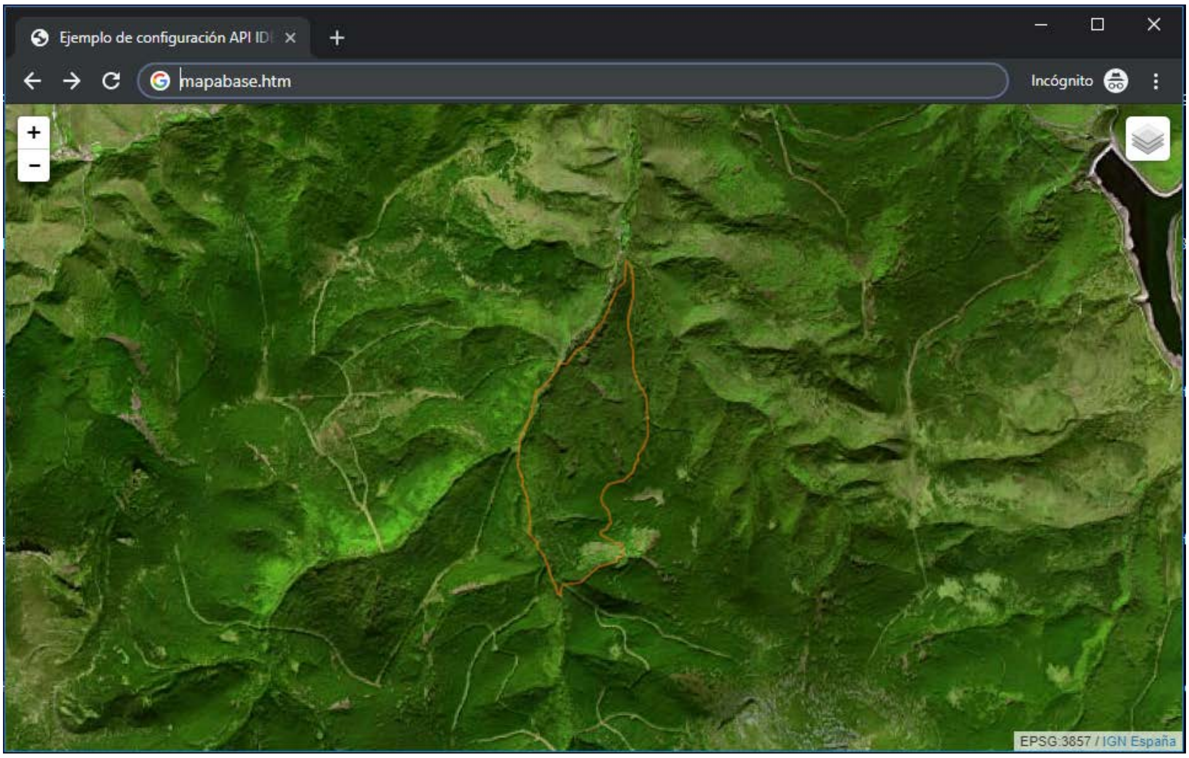


Figura 7.6. Mapa base con la API de IDERioja y capa GPX.

Así como en formato KML. En este caso, vamos a cargar un fichero en formato kml que contiene información sobre los picos más elevados en cada continente; notar que hemos reemplazado el “fondo base” de ortofotos del PNOA por el de Open Street Maps:

```
var iderioja_config = {

 "fondo_base" : "osm-standard",
 "selector_capas": 1,
 "capa_kml": [
  {
   "nombre": "Montañas del Mundo",
   "url":
"https://raw.githubusercontent.com/tucnak/marble/66cf19efddf791e9ee74
e842369f2a2bd75526d7/data/placemarks/elevplacemarks.kml"
  }
 ]

}
```

Podemos ver el mapa resultante en la Figura 7.7:

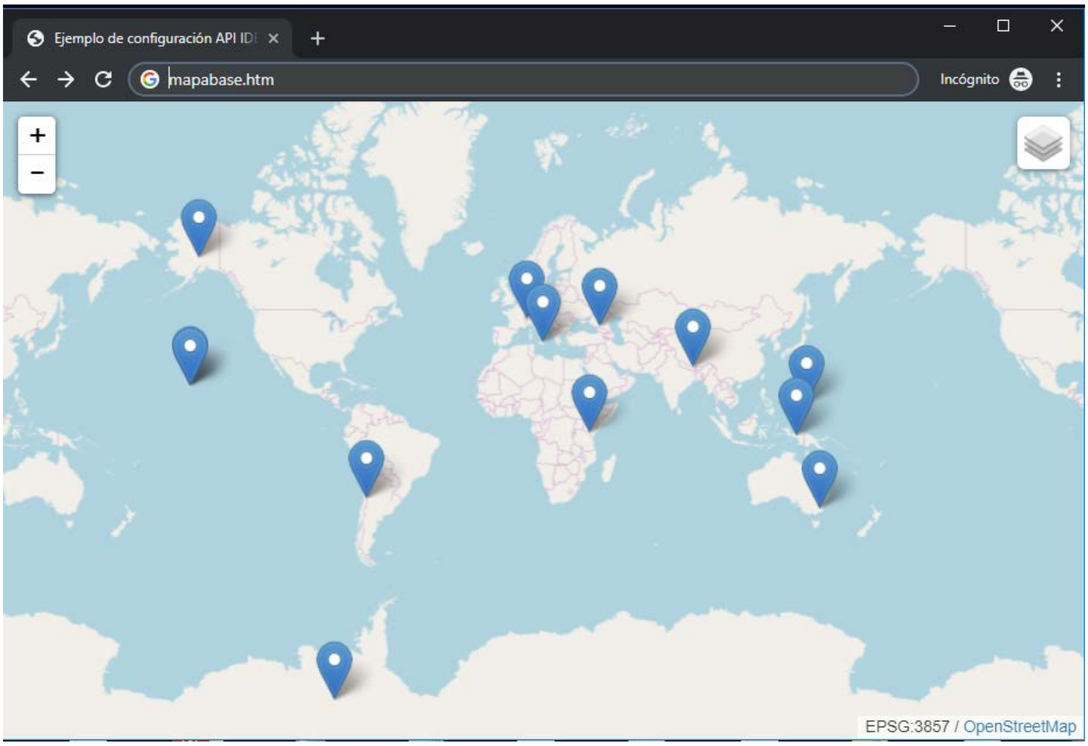


Figura 7.7. Mapa base con la API de IDERioja y capa KML.

Es interesante notar que, al igual que sucedía con las capas en formato GeoJSON, tanto las capas en formato GPX como las capas en formato KML se definen por medio de un vector, por lo que podremos cargar varias capas sobre un fondo base, simplemente separándolas por ",".

```
"capa_gpx": [ capa01, capa02, capa03...]
```

E igualmente:

```
"capa_kml": [ capa01, capa02, capa03...]
```

Donde cada una de las capas se detalla como las anteriores capas de "Ruta GPS Achichuelo Nuevo" y "Montañas del Mundo".

Para cada capa además se pueden añadir otras propiedades opcionales, relativas a cómo deben ser visualizadas (estilo de los puntos, del trazo de las líneas, uso de iconos, etc.) cuya especificación detallada se puede encontrar en los siguientes enlaces:

https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/capa_geojson/

https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/capa_gpx/

https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/opciones/capa_kml/

La API de IDERioja contiene algunas funcionalidades adicionales, en particular permite incluir botones en la página web para completar algunas de las acciones que hemos ido viendo que se pueden definir en las opciones del mapa (cargar una capa adicional, hacer desaparecer alguna de las presentes, modificar el fondo base...). De esa forma, podemos conseguir mapas que permitan

un cierto grado de interacción de los usuarios. Invitamos a los lectores interesados en este tipo de funcionalidades a que visiten la documentación disponible en el siguiente enlace:

https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/metodos/metodos/

7.4. Ejemplos de uso. Leaflet

Tal y como hemos comentado con anterioridad, no sería posible incluir en un texto introductorio como éste todas las posibilidades de uso de Leaflet. De este modo, nos vamos a centrar en presentar funcionalidades similares a las que hemos presentado para la API de IDERioja, es decir, definición de cartografía para ser visualizada en un navegador, por medio de la selección de un fondo base sobre el que podamos cargar ciertas capas adicionales.

En el momento de escribir este tutorial, la última versión de Leaflet es la 1.4. Es probable que, para versiones posteriores, algunos de los mandatos que presentamos a continuación sufran modificaciones.

Al igual que en el caso de la API de IDERioja, partimos de un fichero al cual podemos llamar “mapabase.htm”, en el cual incluimos el siguiente contenido:

```
<!DOCTYPE html>

<html>
<head>
<title>Leaflet</title>
<meta charset="utf-8" />
<link rel="stylesheet"
href="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.css"
integrity="sha512-
puBpdR0798OZvTTbP4A8Ix/l+A4dHDD0DGqYW6RQ+9jxkRFclaxxQb/SJAWZfWAkuyeQU
ytO7+7N4QKrDh+drA==" crossorigin=""/>
<script src="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.js"
integrity="sha512-
QVftwZFqvtRNi0ZyCtsznlKSWOStnDORoefr1enyq5mVL4tmKB3S/EnC3rRJcxCPavG10
IcrVGSmPh6Qw5lwrg==" crossorigin=""></script>
</head>
<body>
<div id="mapid" style="width: 600px; height: 400px;"></div>
<script>

</script>
</body>
</html>
```

De momento no hemos definido un mapa (o fondo) base, ni un servidor desde el cual descargarlo, así que al ver la anterior página web en un navegador no deberíamos ver nada. En la sección del anterior código html etiquetada como **<script> </script>** vamos a ir incluyendo los detalles del mapa que crearemos. Comenzamos por definir el propio mapa:

```
<script>
    var mymap = L.map('mapid', {center: [42.46121, -2.44205], zoom:
13});
</script>
```

Si cargamos la anterior página web en nuestro navegador, veremos que simplemente encontramos una "ventana vacía" en el mismo. Aun así, se puede observar cómo hemos definido dos parámetros relevantes para nuestro futuro mapa, como son las coordenadas iniciales de centrado del mapa ([42.46121, -2.44205]) y el nivel de zoom con que se mostrará el mismo (13).

Nuestro siguiente paso va a ser ahora definir el servicio de "tiles" que debe ser usado a la hora de generar el mapa (básicamente, lo que llamamos fondo base en la API de IDERioja). Añadimos la siguiente orden (en cursiva):

```
<script>

var mymap = L.map('mapid', {center: [42.46121, -2.44205], zoom: 13});

L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
  attribution: 'Map data &copy; <a
href="https://www.openstreetmap.org/">OpenStreetMap</a> contributors,
<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-
SA</a>'}).addTo(mymap);

</script>
```

Si ahora visualizamos la web en un navegador, deberíamos ser capaces de ver un mapa centrado en Logroño y con un nivel de zoom de 13 (en una escala que, en el caso de OpenStreetMaps, va de 0 a 19):

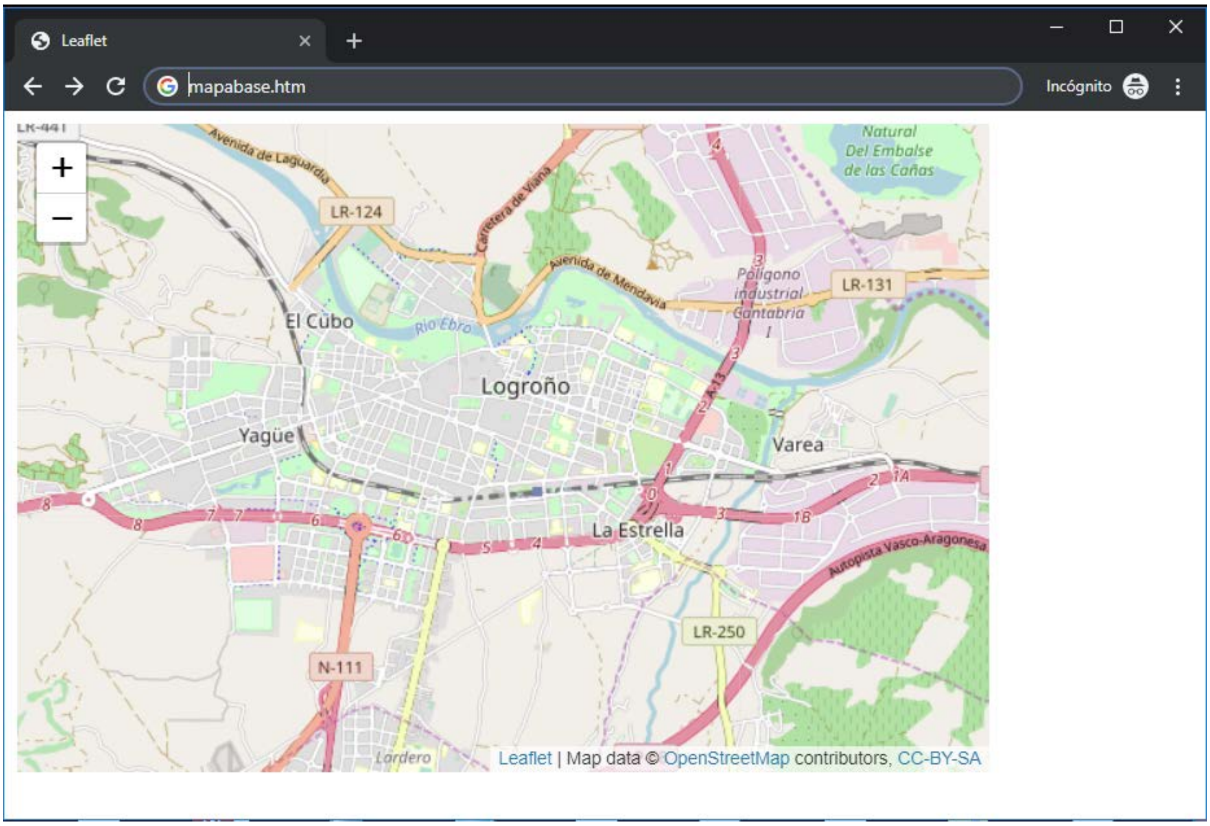


Figura 7.8. Mapa base con Leaflet.

Lo que hemos hecho por medio de la orden “tileLayer” es definir un servidor de “tiles” que usaremos en nuestro mapa (en este caso, uno cualquiera de los varios servidores de OpenStreetMap, https://{s}.tile.openstreetmap.org/) y pasarle como parámetros “z”, el nivel de zoom antes definido, y “x” e “y”, correspondientes a las coordenadas del centrado inicial. También es importante la “atribución” (la propiedad “attribution”), ya que muchos servidores de “tiles” exigen reconocimiento de su uso.

Como se puede observar en el anterior ejemplo, la sintaxis de Leaflet es un poco más farragosa que la propia de la API de IDERioja, pero también es una herramienta más potente (antes de decidirse por una API u otra, es importante saber qué funcionalidades vamos a necesitar, para poder elegir la que de manera más sencilla se ajuste a nuestros requisitos).

Por medio del siguiente código, añadiríamos al mapa anterior un marcador en las mismas coordenadas en que hemos situado el centro del mapa:

```
L.marker([42.46121, -2.44205]).addTo(mymap);
```

En los siguientes ejemplos vamos a aprender a añadir capas (de datos en formatos ya conocidos, como GeoJSON, KML o GPX) al anterior mapa base.

7.4.1. Añadiendo capas en formato “KML”

La mayor parte de funcionalidades adicionales que proporciona Leaflet vienen en forma de “plugins” o librerías que, para poder ser usadas, debemos en primer lugar añadir a la página web que estamos creando. Por ejemplo, en el momento de redacción de este texto, el “plugin” más extendido para incluir capas en formato kml es el disponible en el siguiente enlace:

https://github.com/windycom/leaflet-kml/

Para poder usarlo, debemos añadirlo en las cabeceras de nuestra página web, con la url o ruta en que se encuentra su código (observar la parte en cursiva de las cabeceras, ***<script> </script>***, ya que es la única que cambiar con respecto al ejemplo anterior):

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Leaflet</title>
<meta charset="utf-8" />
<link rel="stylesheet"
href="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.css"
integrity="sha512-
puBpdR0798OZvTTbP4A8Ix/l+A4dHDD0DGqYW6RQ+9jxkRFclaxxQb/SJAWZfWAkuyeQU
ytO7+7N4QKrDh+drA==" crossorigin=""/>
<script src="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.js"
integrity="sha512-
QVftwZFqvtRNi0ZyCtsznlKSWOStnDORoefr1enyq5mVL4tmKB3S/EnC3rRJcxCPavG10
IcrVGSmPh6Qw5lwrg==" crossorigin=""></script>
<script src="http://cdn.jsdelivr.net/gh/windycom/leaflet-
kml/L.KML.js"></script>
</head>
<body>
<div id="mapid" style="width: 600px; height: 400px;"></div>
<script>
```

```
</script>
</body>
</html>
```

Si visualizamos la anterior web deberíamos ver una ventana vacía.

A partir de ahí, y tal y como hicimos en el ejemplo anterior, en la sección del código **<script> </script>** debemos ir definiendo nuestro mapa. Vamos a añadir los siguientes mandatos:

```
<script>
var mymap = L.map('mapid', {center: [58.4, 43.0], zoom: 11});

L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
      attribution: 'Map data &copy; <a
href="https://www.openstreetmap.org/">OpenStreetMap</a> contributors,
<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-
SA</a>'}).addTo(mymap);
</script>
```

Con ello deberíamos obtener un fondo similar al del ejercicio anterior. Al final de la anterior sección de "script" añadimos el mandato (lo incluimos en cursiva):

```
<script>
var mymap = L.map('mapid', {center: [58.4, 43.0], zoom: 11});

L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
      attribution: 'Map data &copy; <a
href="https://www.openstreetmap.org/">OpenStreetMap</a> contributors,
<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-
SA</a>'}).addTo(mymap);

fetch('https://raw.githubusercontent.com/windycom/leaflet-
kml/master/assets/example2.kml')
    .then(res => res.text())
        .then(kmltext => {
          // Creamos la nueva capa kml
          const parser = new DOMParser();
          const kml = parser.parseFromString(kmltext, 'text/xml');
          const track = new L.KML(kml);
          mymap.addLayer(track);

          // Ajustamos los límites del mapa al kml cargado
          const bounds = track.getBounds();
           mymap.fitBounds(bounds);
        });
</script>
```

Ahora sí, si mostramos la página web obtenida deberíamos ver el resultado mostrado en la Figura 7.9.

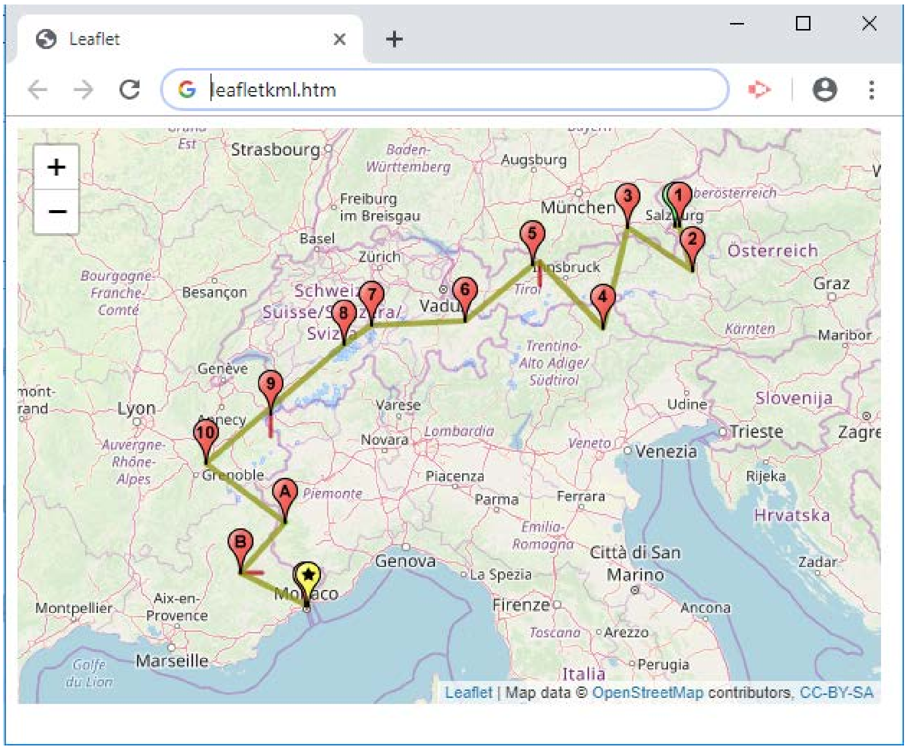


Figura 7.9. Mapa base con Leaflet y capa KML.

En el anterior mandato hay que distinguir varias cosas relevantes.

La capa que estamos cargando es el fichero kml disponible en la url:

https://raw.githubusercontent.com/windycom/leaflet-kml/master/assets/example2.kml

Sobre ese fichero se hacen varias operaciones de conversión (propias del lenguaje de programación, no particulares de los datos, que se mostrarán tal cual están en el fichero kml), hasta que lo añadimos a nuestro mapa por medio del mandato:

```
mymap.addLayer(track);
```

Finalmente, también se ajusta el mapa para que muestre precisamente la capa cargada (y no las coordenadas iniciales que se definieron):

```
const bounds = track.getBounds();
mymap.fitBounds(bounds);
```

Si quisiéramos incluir varias capas en formato kml, podríamos añadir varios mandatos "fetch" como el anterior, uno por cada una de las capas que queramos cargar.

7.4.2. Añadiendo capas en formato "GPX"

De una manera similar, aunque usemos un plugin distinto, podemos cargar una capa en formato GPX sobre un mapa original.

Partimos del mismo ejemplo que teníamos antes, pero ahora cargamos a librería que nos permite gestionar ficheros GPX (mostrada en cursiva):

```
<html>
<head>
<title>Leaflet</title>
<meta charset="utf-8" />
<link rel="stylesheet"
href="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.css"
integrity="sha512-
puBpdR0798OZvTTbP4A8Ix/l+A4dHDD0DGqYW6RQ+9jxkRFclaxxQb/SJAWZfWAkuyeQU
ytO7+7N4QKrDh+drA==" crossorigin=""/>
<script src="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.js"
integrity="sha512-
QVftwZFqvtRNi0ZyCtsznlKSWOStnDORoefr1enyq5mVL4tmKB3S/EnC3rRJcxCPavG10
IcrVGSmPh6Qw5lwrg==" crossorigin=""></script>

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/leaflet-
gpx/1.4.0/gpx.min.js"></script>

</head>
<body>
<div id="mapid" style="width: 600px; height: 400px;"></div>
<script>

</script>
</body>
</html>
```

Como en los anteriores ejemplos, la página web resultante será un mapa vacío. Pasamos ahora a incluir entre las etiquetas **<script> … </script>** del anterior fragmento los mandatos que nos van a permitir incluir la capa gpx; la misma deberá estar disponible a través de una url o en la carpeta en la que estemos trabajando.

```
var mymap = L.map('mapid', {center: [42.46121, -2.44205], zoom: 13});

L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
  attribution: 'Map data &copy; <a
href="https://www.openstreetmap.org/">OpenStreetMap</a> contributors,
<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-
SA</a>'}).addTo(mymap);

var url =
'https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/d
atos_ejemplo/ruta_gps_achichuelo_nuevo.gpx';

new L.GPX( url , {
            async: true,
            marker_options: {
                  startIconUrl: '',
                  endIconUrl: '',
                  shadowUrl: ''
            }
      }).on('loaded', function(e) {
            mymap.fitBounds(e.target.getBounds());
}).addTo(mymap);
```

En el fragmento anterior de código la parte "novedosa" aparece en cursiva. En el mismo definimos la ruta a nuestro fichero gpx (en este caso, almacenado en "var url", que corresponde con la Ruta del Achichuelo que ya mostramos con la API de IDE Rioja), y el objeto "GPX", el cual definimos a partir de la ruta, y de una serie de "marker_options" donde podríamos usar iconos para marcar

los puntos de inicio, final y las sombras de los mismos. También se pueden añadir más capas GPX sobre un mismo mapa por medio de más secuencias (tantas como requiramos) **“var url = …; new L.GPX (…) ”.**

El resultado de ver la anterior página en nuestro navegador sería el siguiente:

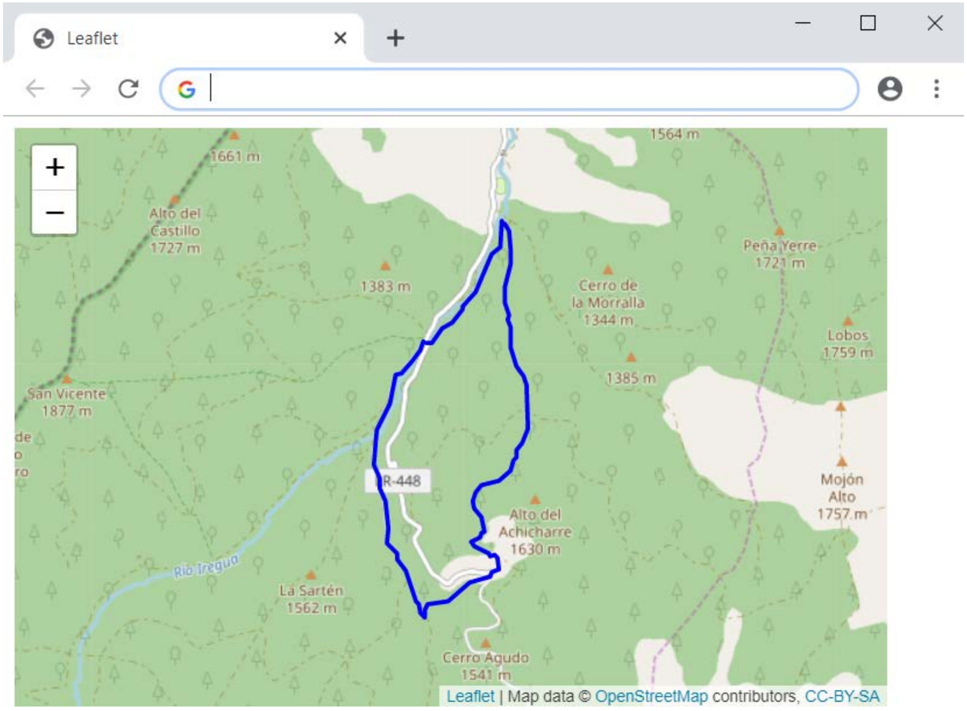


Figura 7.10. Mapa base con Leaflet y capa GPX.

7.4.3. Añadiendo capas en GeoJSON

Finalmente, vamos a presentar un sencillo ejemplo donde vamos a recuperar la capa en formato GeoJSON que usamos para la API de IDERioja y la vamos a cargar usando Leaflet.

El código del ejemplo sería el siguiente.

```
<html>
<head>
<title>Leaflet</title>
<meta charset="utf-8" />
<link rel="stylesheet"
href="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.css"
integrity="sha512-
puBpdR0798OZvTTbP4A8Ix/l+A4dHDD0DGqYW6RQ+9jxkRFclaxxQb/SJAWZfWAkuyeQU
ytO7+7N4QKrDh+drA==" crossorigin=""/>
<script src="https://unpkg.com/leaflet@1.4.0/dist/leaflet.js"
integrity="sha512-
QVftwZFqvtRNi0ZyCtsznlKSWOStnDORoefr1enyq5mVL4tmKB3S/EnC3rRJcxCPavG10
IcrVGSmPh6Qw5lwrg==" crossorigin=""></script>

<script src="https://code.jquery.com/jquery-3.4.1.js"></script>

</head>
<body>
<div id="mapid" style="width: 600px; height: 400px;"></div>
<script>

var mymap = L.map('mapid', {center: [42.46121, -2.44205], zoom: 13});
```

```
L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
  attribution: 'Map data &copy; <a
href="https://www.openstreetmap.org/">OpenStreetMap</a> contributors,
<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-
SA</a>'}).addTo(mymap);

var url =
'https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/master/d
atos_ejemplo/medios_lucha_contra_incendios_forestales.geojson';


$.getJSON(url,function(data){
        var datalayer = L.geoJson(data).addTo(mymap);
        mymap.fitBounds(datalayer.getBounds());
});

</script>
</body>
</html>
```

En el código anterior hemos destacado en cursiva las partes más relevantes del mismo, que detallamos más adelante. El resultado obtenido a partir del anterior código se puede ver en la Figura 7.11:

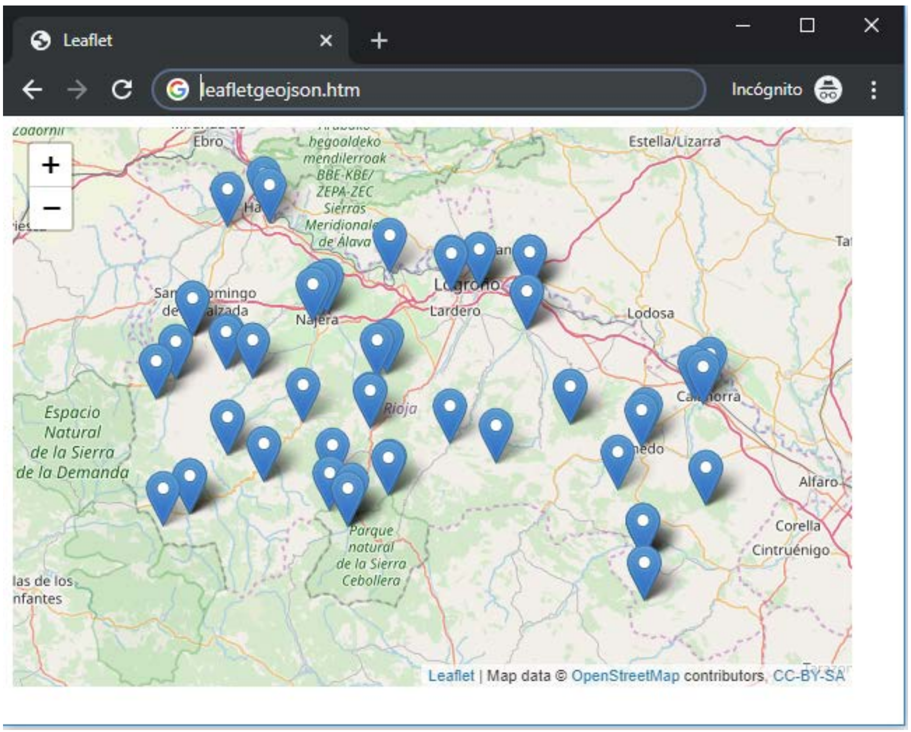


Figura 7.11. Mapa base con Leaflet y capa GeoJSON.

En lo relativo al código, hay tres puntos destacables:

1. En nuestro código hemos tenido que usar explícitamente JQuery para recuperar el fichero GeoJSON desde una url, un conjunto de librerías JavaScript para facilitar la experiencia de usuario. De ahí la línea:

```
   <script src="https://code.jquery.com/jquery-
3.4.1.js"></script>
```

2. La línea:

```
var url =
'https://raw.githubusercontent.com/iderioja/doc_api_iderioja/ma
ster/datos_ejemplo/medios_lucha_contra_incendios_forestales.geo
json';
```

define la dirección url en la que se encuentra el fichero GeoJSON que define la capa que queremos cargar.

3. Las líneas:

```
      $.getJSON(url,function(data){
            var datalayer = L.geoJson(data).addTo(mymap);
            mymap.fitBounds(datalayer.getBounds());
      });
```

recuperan la información de la url anterior, la añaden al mapa, y finalmente ajustan las cotas del mismo.

Como en puede observar en el mapa resultante, solo hemos cargado los puntos del mismo, y no las características (iconos, metadatos, etc.) que sí se cargaron al usar la API de IDERioja. El método que hemos usado es capaz de generar las geometrías definidas en el GeoJSON, no así sus características. Ser capaz de recuperar todas las características del fichero GeoJSON requiere programar en JavaScript varias funciones que consideramos fuera del alcance de este manual. Invitamos al lector interesado a seguir la documentación de la página de Leaflet o a usar alguno de los plugin que soporte esa funcionalidad de los que incluimos en la bibliografía.

BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 1

Agencia espacial europea. Misión GOCE. https://www.esa.int/

Fernández Coppel, I. (2001). *Localizaciones geográficas: las coordenadas geográficas y la proyección UTM (Universal Transversa Mercator): el Datum*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Geografía: Recursos online. https://sites.google.com/site/geohistoriaenlaces/

Instituto Geográfico Nacional. https://www.ign.es/web/ign/portal

Olaya Ferrero, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica*. Disponible en: https://www.bubok.es/libros/191920/Sistemas-de-Informacion-Geografica

Visor Iberpix. https://www.ign.es/iberpix2/visor/

Capítulo 2

GPX. https://www.topografix.com/gpx.asp

Documentación del esquema XML de GPX. https://www.topografix.com/GPX/1/1/

KML. Open Geospatial Consortium. https://www.opengeospatial.org/standards/kml/

KML. Keyhole Markup Language. Tutorial de Google. https://developers.google.com/kml

Validador de ficheros GeoJSON. http://geojsonlint.com/

Repositorio de ficheros GeoJSON de IDERioja. https://github.com/iderioja/base_datos_geografica

Shapefiles. ArcGIS. https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/shapefiles.htm

Capítulo 3

Andrades, M. S., Aransay, J. M., Diago, M. P., Llorente, J. A., Sáenz-de-Cabezón, E., Tardáguila, M. J. (2018). Análisis del uso de datos geográficos y sistemas de información geográfica en las enseñanzas de grado y master de una universidad, en *Actas de las XXIV Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática. JENUI 2018*, vol. 3. pp. 367-370. Disponible en: http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=article&op=view&path%5B%5D=42 8

Bernabé, M.A. Manso, M.A., González, M.E. (2007). La docencia universitaria sobre Infraestructura de Datos Espaciales. *Revista Cartográfica*, 83: 17-36.

Clarck, J. O.E., Black, J. (2006). *Joyas de la Cartografía. 100 ejemplos de cómo la cartografía definió, modificó y aprehendió el mundo*. Bath: Parragon Books. p. 256

De Lázaro Torres, M.A., Fernández Portela, J., Morales Yago, J. (2019). La docencia universitaria en asignaturas de Geografía empleando los Sistemas de Información Geográfica, en *La reconfiguración del medio rural en la sociedad de la información. Nuevos desafíos en la educación geográfica*. (Coords. Macía Arce, X.C., Armas Quintá, F.X., Rodríguez Lestegás, F.). Santiago de Compostela: Andavira. pp. 303-314.

Infraestructura de Datos Espaciales Gobierno de La Rioja (IDERioja) (2019). https://www.iderioja.larioja.org/

Instituto Geográfico Nacional (IGN), Ministerio de Fomento. https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/031609.html (Acceso: 22 octubre 2019)

Llorente-Adán J.A., Aransay Azofra, J.M., Sáenz de Cabezón Irigaray, E., Diago Santamaría, M.P., Lana-Renault Montreal, N., Ruiz-Flaño, P., Andrades Rodríguez, M.S. (2019). Uso de Software y datos geográficos en trabajos fin de estudio (TFG y TFM) y tesis doctorales en la Universidad de La Rioja (1992-2018), en *V Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red. IN-RED 2019.* Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 241-251. https://doi.org/10.4995/INRED2019.2019.10372

Nieto Masot, A. (2010). El uso didáctico de los sistemas de información geográfica en el Espacio Europeo de Educación Superior. *Tejuelo*, 9: 136-161. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3719416.pdf

Vázquez Cano, E., Sevillano García, M.L. (2014). Análisis de la funcionalidad didáctica de las tabletas digitales en el Espacio Europeo de Educación Superior. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 11 (3): 67-81. http://doi.org/10.7238/rusc.v11i3.1808

Capítulo 4

ESRI (2003). *Enterprise Geographic Information Servers: A New Information System Architecture. A ESRI White paper*.

Vicente González, J.L., Behm Chang, V. (2008). *Consulta, edición y análisis espacial con ArcGIS 9.2. Tomo I: Teoría*. Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente. Disponible en: http://www.jlvg.es/Publicaciones.asp

Wieczorek, W.F., Delmerico, A.M. (2009). Geographic Information Systems. *Computational Statistics*, 1: 167-186.

https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-idw-works.htm

https://mappinggis.com/2013/11/los-formatos-gis-vectoriales-mas-populares/

http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm

Capítulo 5

Burrough, P., McDonnell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press.

Escolano Utrilla, S. (2015). *Sistemas de información geográfica: una introducción para estudiantes de Geografía*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Olaya Ferrero, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica*. Disponible en: https://www.bubok.es/libros/191920/Sistemas-de-Informacion-Geografica

Sastre Olmos, P. (2010). *Sistemas de Información Geográfica (SIG). Técnicas básicas para estudios de biodiversidad.*

Capítulo 6

Tutorial Python. https://docs.python.org/3/tutorial/index.html

PyQGIS. https://github.com/All4Gis/QGIS-cheat-sheet/blob/master/QGIS3.md

Rasterio. https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/quickstart.html

Shapely. https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/installation.html

Plugins de Python QGIS. https://plugins.qgis.org/plugins/

R-QGIS. https://cran.r-project.org/web/packages/RQGIS/index.html

Capítulo 7

Página web de la API de IDERioja. https://iderioja.github.io/doc_api_iderioja/

Página web de Leaflet. https://leafletjs.com/

Plugin para introducir capas GPX en Leaflet. https://github.com/mpetazzoni/leaflet-gpx

Plugin para introducir capas KML en Leaflet. https://github.com/windycom/leaflet-kml

Plugin para incluir capas de múltiples formatos de manera simultánea en Leaflet. https://github.com/mapbox/leaflet-omnivore

UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

Servicio de Publicaciones
Biblioteca Universitaria
C/ Piscinas, 1
26006 Logroño (La Rioja)
Teléfono: 941 299 187

http://publicaciones.unirioja.es
www.unirioja.es